

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

В.о.завідувача кафедри

_____ Володимир ЄРЕМЕНКО

«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Інформаційні вимірювальні
технології екологічної безпеки»**

зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

**на тему: «Підвищення точності вимірювання дефектів клейових з'єднань
оптичних деталей шляхом дослідження ППЗ-матриці оптико-електронної
системи»**

Виконала:

студент II курсу, групи ПН-391мп

Коваленко Павло Ромуальдович _____

Керівник:

доцент Маркіна Ольга Миколаївна _____

Консультант з назва розділу:

доцент д.е.н

Бояринова Катерина Олександрівна, _____

Консультант із нормконтролю:

доцент к.т.н.,

Божко Костянтин Михайлович _____

Рецензент:

старший викладач к.т.н.

Богдан Галина Анатоліївна _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____

Київ – 2020 року

ВІДОМІСТЬ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

[illegible]

	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.				Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівн.					1	1
Консульт.						
Н/контр.						
Зав.каф.						

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

Освітньо-професійна програма Інформаційні вимірювальні технології екологічної безпеки

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Володимир ЄРЕМЕНКО

«__» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію

Коваленко Павлу Ромуальдовичу

1. Тема дисертації «Підвищення точності вимірювання дефектів клейових з'єднань оптичних деталей шляхом дослідження ПЗЗ-матриці оптико-електронної системи»

науковий керівник МАРКІНА Ольга, доцент, кандидат технічних наук,
затверджені наказом по університету від «__» _____ 2020 року
№ _____.

2. Строк подання студентом дисертації «7» грудня 2020 р.

3. Об'єкт дослідження: клейові з'єднання оптично-прозорих об'єктів.

4. Предмет дослідження: ПЗЗ-матриця оптико-електронної системи вимірювальної системи для визначення дефектів клейових з'єднань.

5. Перелік питань, які мають бути досліджені

5.1 Теоретичні дослідження:

5.1.1. Провести аналітичний огляд дефектів клейових з'єднань.

5.1.2. Провести аналітичний огляд галузей застосування клейових з'єднань.

5.1.3. Провести огляд композицій клею та дефектів композиційної структури.

5.1.4. Провести огляд особливостей клейових з'єднань об'єктів.

5.1.5. Розробити структурну схему оптико-електронної вимірювальної системи дефектів клейових з'єднань. Підібрати складові вузли майбутньої оптико-електронної системи.

5.1.6 Виконати експериментальні дослідження ПЗЗ матриці телевізійної камери щодо виявлення шумів на матриці, щодо виявлення причин виникнення шумів на матриці, щодо усунення шумів на матриці.

5.1.7. Провести оцінку точності вимірювання дефектів клейових з'єднань.

5.1.8 Висновки. Презентація.

5.1.9 Стартап-проект за темою дисертації.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу на захист дисертації.

6.1 Зображення дефектів композиційної структури клею та зображення схеми виготовлення клейового з'єднання.

6.2 Структурна схема оптико-електронної вимірювальної системи дефектів клейових з'єднань. Підібрати складові вузли майбутньої оптико-електронної системи.

6.3 Навести результати експериментальних досліджень ПЗЗ матриці телевізійної камери щодо виявлення шумів на матриці, щодо виявлення причин виникнення шумів на матриці, щодо усунення шумів на матриці.

6.4 Навести результати оцінки точності вимірювання дефектів клейових з'єднань.

7. Орієнтовний перелік публікацій:

7.1 Одна теза доповіді на міжнародних конференціях в Україні або за кордоном.

8. Консультанти розділів дисертації:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1.	Зашепкіна Н.М., професор, д.т.н.	10.09.2020	30.09.2020
Розділ 2.	Зашепкіна Н.М., професор, д.т.н.	29.09.2020	12.10.2020
Розділ 3.	Зашепкіна Н.М., професор, д.т.н.	01.10.2020	16.11.2020
Розділ 4. Стартап проект «Удосконалення контролю вимірювання твердих часток у газових викидах промислових підприємств»	Бояринова К.О., к.е.н., доцент	16.09.2020	22.10.2020

9. Дата видачі завдання «10» вересня 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/ п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Провести аналітичний огляд дефектів клейових з'єднань.	05.10.2020 р.	Виконано
2	Провести аналітичний огляд галузей застосування клейових з'єднань.	14.10.2020 р.	Виконано
3	Провести огляд композицій клею та дефектів композиційної структури.	18.10.2020 р.	Виконано
4	Провести огляд особливостей клейових з'єднань об'єктів.	20.10.2020 р.	Виконано
5	Розробити структурну схему оптико- електронної вимірювальної системи дефектів клейових з'єднань. Підібрати складові вузли майбутньої оптико- електронної системи.	20.10.2020 р.	Виконано
6	Виконати експериментальні дослідження ПЗЗ матриці телевізійної камери щодо виявлення шумів на матриці.	27.10.2020 р.	Виконано
7	Виконати експериментальні дослідження ПЗЗ матриці телевізійної камери щодо виявлення причин виникнення шумів на матриці.	27.10.2020 р.	Виконано

8	Виконати експериментальні дослідження ПЗЗ матриці телевізійної камери щодо усунення шумів на матриці.	27.10.2020 р.	Виконано
9	Провести оцінку точності вимірювання дефектів клейових з'єднань.	15.11.2020 р.	Виконано
10	Висновки. Презентація.	30.11.2020 р.	Виконано
11	Стартап-проект за темою дисертації.	30.11.2020 р.	Виконано

Студент

/Павло КОВАЛЕНКО/

Науковий керівник дисертації

/Ольга МАРКІНА/

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему «Підвищення точності вимірювання дефектів клейових з'єднань оптичних деталей шляхом дослідження ПЗЗ-матриці оптико-електронної системи» містить пояснювальну записку на 104 сторінках формату А4, 18 ілюстрацій, 12 таблиць, 21 літературне джерело.

У магістерській дисертації виконано аналітичний огляд дефектів клейових з'єднань, розписані види композитів клею, їх складових, особливостей з'єднання об'єктів, що підлягають склеюванню. Дана інформація дає нам уявлення утворення дефектів, бульбашок повітря, що утворюються через неправильну, чи недосконалу технологію склеювання.

У другому розділі виконано проектування експериментального макету оптико-електронної вимірювальної системи для виявлення дефектів клеєних з'єднань скляних поверхонь. Розроблено структурну схему та підібрано структурні елементи та вузли з переліку запропонованих видів електроніки та оптики. Особливої уваги ми приділили вибору телевізійної камери з ПЗЗ-матрицею, оскільки, саме для цього вузла ми плануємо проводити ряд експериментальних досліджень присвячених пошуку шумів на матриці та причин їх наявності й звісно розробці методу їх усунення.

У третьому розділі магістерської дисертації ми провели ряд експериментальних досліджень ПЗЗ матриці телевізійної камери. Для початку ми розробили власну методику дослідження шумів на ПЗЗ матриці. Визначили їх попіксельно, а саме у кожному елементі розкладу зображення (пікселі) дослідили рівень шумів. Наступним кроком було визначення джерела, що викликає ці шуми. Ми вирішили, що нам варто провести тепловізійне дослідження матриці, у результаті чого ми встановили, що відбувається нагрів окремих елементів матриці, особливо загальної шини. Останнім кроком при проведенні експериментальних досліджень, пов'язаних з ПЗЗ матрицею, став пошук системи усунення цього джерела шумів на матриці. Отже, для усунення впливу теплового чиннику запропоновано методику охолодження оптико-

електронної системи, використання якої дозволило зменшити похибку вимірювання на 40% від загальної похибки та збільшити корисний сигнал на 30%.

У четвертому розділі ми провели оцінку точності вимірювання геометричних розмірів дефектів клейових з'єднань спроектованою оптико-електронною вимірювальною системою. Отримали наступні результати. Відносна похибка вимірювання геометричних розмірів дефектів клейових з'єднань скляних поверхонь товщиною 2 мм й коефіцієнтом пропускання світла, що дорівнювала 1, зменшилась на 25 %. Хочемо відзначити, що після дотриманням тонкощів в налаштуванні системи усування шумів на матриці, було підвищено чутливість й роздільну здатність фіксації дефектів, а похибка вимірювання становила $10 \pm 1,2$ мкм після $10 \pm 0,3$ мкм.

Ключові слова: ПЗЗ матриця, оптико-електронна вимірювальна система.

ABSTRACT

The master's dissertation on "Improving the accuracy of measuring defects of adhesive joints of optical parts by studying the CCD-matrix of the optoelectronic system" contains an explanatory note on 104 A4 pages, 18 illustrations, 12 tables, 21 references.

In the master's dissertation the analytical review of defects of glue connections, types of glue composites, their components, features of connection of the objects which are subject to pasting is executed. This information gives us an idea of the formation of defects, air bubbles formed due to incorrect or imperfect bonding technology.

In the second section, an experimental model of an optoelectronic measuring system is designed to detect defects in glued joints of glass surfaces. The structural scheme is developed and the structural elements and units from the list of the offered types of electronics and optics are selected. We paid special attention to the choice of a television camera with a CCD matrix, because for this node we plan to conduct a series of experimental studies on the search for noise on the matrix and the reasons for their presence and of course to develop a method to eliminate them.

In the third section of the master's dissertation, we conducted a series of experimental studies of the CCD of the television camera matrix. To begin with, we have developed our own method for studying noise on the CCD matrix. They were determined pixel by pixel, namely in each element of the image layout (pixels) the noise level was investigated. The next step was to determine the source that caused these noises. We decided that we should conduct a thermal imaging study of the matrix, as a result of which we found that the heating of individual elements of the matrix, especially the common bus. The last step in conducting experimental research related to the CCD matrix was to find a system to eliminate this source of noise on the matrix. Therefore, to eliminate the influence of the thermal factor, a method of cooling the optoelectronic system is proposed, the use of which allowed to reduce the measurement error by 40% of the total error and increase the useful signal by 30%.

In the fourth section, we evaluated the accuracy of measuring the geometric dimensions of the defects of adhesive joints with a designed optoelectronic measuring system. The following results were obtained. The relative error of measuring the geometric dimensions of the defects of the adhesive joints of glass surfaces with a thickness of 2 mm and a light transmittance equal to 1 decreased by 25%. We would like to note that after observing the subtleties in setting up the noise reduction system on the matrix, the sensitivity and resolution of defect fixation were increased, and the measurement error was $10 \pm 1.2 \text{ }\mu\text{m}$ after $10 \pm 0.3 \text{ }\mu\text{m}$.

Keywords: CCD matrix, optoelectronic measuring system.

ABSTRAKCYJNY

Praca magisterska pt. „Poprawa dokładności pomiaru defektów połączeń adhezyjnych części optycznych poprzez badanie matrycy CCD układu optoelektronicznego” zawiera notę wyjaśniającą na 104 stronach A4, 18 ilustracjach, 12 tabelach, 21 piśmiennictwie.

W pracy magisterskiej pomalowano analityczny przegląd wad połączeń klejowych, rodzajów kompozytów klejowych, ich elementów składowych, cech połączeń obiektów podlegających wklejaniu. Ta informacja daje nam wyobrażenie o powstawaniu defektów, pęcherzykach powietrza powstałych w wyniku niewłaściwej lub niedoskonałej technologii klejenia.

W drugiej części zaprojektowano eksperymentalny model optoelektronicznego układu pomiarowego do wykrywania uszkodzeń w połączeniach klejonych powierzchni szklanych. Opracowywany jest schemat konstrukcyjny oraz dobierane są elementy konstrukcyjne i zespoły z listy oferowanych typów elektroniki i optyki. Szczególną uwagę zwróciliśmy na wybór kamery telewizyjnej z matrycą CCD, ponieważ dla tego węzła planujemy przeprowadzić serię badań eksperymentalnych dotyczących poszukiwania szumów na matrycy i przyczyn ich występowania oraz oczywiście wypracowanie metody ich eliminacji.

W trzeciej części pracy magisterskiej przeprowadziliśmy serię badań eksperymentalnych matrycy CCD kamery telewizyjnej. Na początek opracowaliśmy własną metodę badania szumu na matrycy CCD. Określano je piksel po pikselu, czyli w każdym elemencie układu obrazu (pikselach) badano poziom szumów. Następnym krokiem było ustalenie źródła, które spowodowało te odgłosy. Postanowiliśmy, że powinniśmy przeprowadzić badanie termowizyjne matrycy, w wyniku którego stwierdziliśmy, że nagrzewa się poszczególne elementy matrycy, a zwłaszcza zwykła szyna. Ostatnim krokiem w prowadzeniu badań eksperymentalnych związanych z matrycą CCD było znalezienie układu eliminującego to źródło szumu na matrycy. Dlatego w celu wyeliminowania wpływu współczynnika termicznego proponuje się sposób chłodzenia układu optoelektronicznego, którego zastosowanie pozwoliło na

zmniejszenie błędu pomiaru o 40% całkowitego błędu i zwiększenie użytecznego sygnału o 30%.

W części czwartej dokonaliśmy oceny dokładności pomiaru wymiarów geometrycznych ubytków połączeń adhezyjnych za pomocą zaprojektowanego optoelektronicznego układu pomiarowego. Następujące wyniki zostały osiągnięte, Względny błąd pomiaru wymiarów geometrycznych ubytków spoin klejowych powierzchni szklanych o grubości 2 mm i przepuszczalności światła równej 1 zmniejszył się o 25%. Zwracamy uwagę, że po zaobserwowaniu niuansów w ustawianiu układu redukcji szumów na matrycy zwiększono czułość i rozdzielczość utrwalania wady, a błąd pomiaru wyniósł $10 \pm 1,2 \mu\text{m}$ po $10 \pm 0,3 \mu\text{m}$.

Słowa kluczowe: matryca CCD, optoelektroniczny system pomiarowy.

Зміст

ВСТУП.....	15
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ДЕФЕКТІВ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ.....	18
1.1 Галузі застосування клейових з'єднань.....	18
1.2 Огляд композитів (композицій) клею.....	20
1.2.1 Армовані волокнами композити клею.....	21
1.2.2 Структурні композити клею.....	21
1.3 Дефекти композиційної структури.....	22
1.3.1 Методи з'єднання в композитів клею.....	23
1.4 Особливості клейових з'єднань об'єктів.....	24
1.5 Висновок до розділу 1.....	29
РОЗДІЛ 2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МАКЕТ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ.....	31
2.1 Структурна схема оптико-електронної вимірювальної системи.....	31
2.1.1 Вибір та обґрунтування основного тіла вимірювальної системи, мікроскопу.....	33
2.1.2 Вибір та обґрунтування телевізійної камери.....	42
2.1.3 Вибір та обґрунтування світлових фільтрів.....	51
2.1.4 Вибір та обґрунтування оптичного об'єктиву.....	54
2.2 Висновки до розділу 2.....	57
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЗЗ-МАТРИЦІ ТЕЛЕВІЗІЙНОЇ КАМЕРИ.....	59
3.1 Виявлення шумів ПЗЗ матриці телевізійної камери.....	59
3.2 Визначення причин шумів ПЗЗ матриці телевізійної камери.....	60
3.3 Усунення шумів ПЗЗ матриці телевізійної камери.....	63
3.4 Висновки до розділу 3.....	64
РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ДЕФЕКТІВ КЛЕЙОВИХ ЄДНАНЬ.....	66

4.1 Дослідження показників точності до усунення шумів на матриці телевізійної камери	66
4.2 Дослідження показників точності після усунення шумів на матриці телевізійної камери	69
4.3 Порівняння результатів точності з визначення геометричних розмірів дефектів клейових з'єднань	72
4.4 Висновки до розділу 4	72
РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	75
5.1.Опис ідеї стартап-проекту	75
5.2.Технологічний аудит ідеї проекту	76
5.3.Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	77
5.4.Розробка ринкової стратегії проекту.....	85
ВИСНОВОК.....	91
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	97

ВСТУП

Композити клею широко використовуються в різних інженерних програмах, включаючи автомобільну, аерокосмічну та будівельну галузі. Гібридні композити клеїв, що виготовлені з двох або більше різних армувань, мають покращені механічні властивості, необхідні для сучасних інженерних застосувань. Кілька питань у композитах були вирішені протягом останніх кількох років шляхом розробки нових матеріалів, нових методів та моделей гібридних з'єднань. Багато компонентів автомобіля з'єднуються між собою за допомогою постійного або тимчасового кріплення, таких як заклепки, зварювальне з'єднання та склеювані з'єднання. Передбачається все більше використання скріплених конструкцій для зменшення кількості кріпильних елементів і заклепочних з'єднань, а там за рахунок різкого зниження вартості збірки.

Клейове з'єднання успішно застосовується в багатьох технологіях. У наукових роботах вчених, що займаються цими питаннями, розглядаються та обговорюються наукові роботи щодо адгезивно пов'язаних композитів та гібридних композитів. Обговорюються декілька параметрів, таких як обробка поверхні, конфігурація швів, властивості матеріалу, геометричні параметри, режими руйнування тощо, що впливають на експлуатаційні якості клейових з'єднань. Детально наводяться такі фактори навколишнього середовища, як волога та температура перед зчепленням, спосіб нанесення клею. Розроблено конкретний випадок клейових з'єднань у гібридних з'єднаних болтових з'єднаннях. Оскільки нові сфери застосування розширюються в області з'єднання композитів та адгезивних з'єднань, важливо використовувати інформацію про декілька адгезивів та їх поведінку в різних умовах навколишнього середовища, щоб розробити вдосконалену структуру клейового з'єднання при механічному застосуванні. Як видно з описаного матеріалу, ця тема є надзвичайно актуальною, а ми у нашій роботі спробує спроектувати просту оптико-електронну вимірювальну систему дефектів клейових з'єднань.

Та провести її удосконалення шляхом усунення шумів на матриці, що дозволить нам підвищити точність вимірювання.

Мета і завдання дослідження.

Отже, у **магістерській роботі за мету поставлено** задачу підвищення точності вимірювання дефектів клейових з'єднань оптичних деталей шляхом дослідження ПЗЗ-матриці оптико-електронної системи шляхом усунення шумів на матриці камери

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

1. Провести аналітичний огляд дефектів клейових з'єднань.
2. Провести аналітичний огляд галузей застосування клейових з'єднань.
3. Провести огляд композицій клею та дефектів композиційної структури.
4. Провести огляд особливостей клейових з'єднань об'єктів.
5. Розробити структурну схему оптико-електронної вимірювальної системи дефектів клейових з'єднань. Підібрати складові вузли майбутньої оптико-електронної системи.
6. Виконати експериментальні дослідження ПЗЗ матриці телевізійної камери щодо виявлення шумів на матриці, щодо виявлення причин виникнення шумів на матриці, щодо усунення шумів на матриці.
7. Провести оцінку точності вимірювання дефектів клейових з'єднань.

Об'єкт дослідження – клейові з'єднання оптично-прозорих об'єктів.

Предмет дослідження – ПЗЗ-матриця оптико-електронної системи вимірювальної системи для визначення дефектів клейових з'єднань.

В процесі роботи, в залежності від поставлених завдань, застосовувались різні **методи досліджень**: методи проведення експериментальних досліджень, метод обробки результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів. У магістерській роботі отримано наступні наукові результати:

1. Розроблено методики дослідження ПЗЗ матриці телевізійної камери щодо виявлення шумів на матриці, щодо виявлення причин виникнення шумів на матриці, щодо усунення шумів на матриці.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Проведено аналітичний огляд дефектів клейових з'єднань.
2. Проведено аналітичний огляд галузей застосування клейових з'єднань.
3. Проведено огляд композицій клею та дефектів композиційної структури.
4. Проведено огляд особливостей клейових з'єднань об'єктів.
5. Розроблено структурну схему оптико-електронної вимірювальної системи дефектів клейових з'єднань. Підібрати складові вузли майбутньої оптико-електронної системи.
6. Виконано експериментальні дослідження ПЗЗ матриці телевізійної камери щодо виявлення шумів на матриці, щодо виявлення причин виникнення шумів на матриці, щодо усунення шумів на матриці.
7. Проведено оцінку точності вимірювання дефектів клейових з'єднань.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ДЕФЕКТІВ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ

У першому розділі магістерської дисертації ми виконаємо огляд видів клейових з'єднань, того як відбувається з'єднання, особливості склеювання та композицій клею. Такий огляд дасть нам інформацію щодо особливостей об'єкту контролю, які необхідно буде врахувати при проектуванні оптико-електронної вимірювальної системи для проведення контролю дефектів клейових з'єднань. Хочемо зазначити, що клейові з'єднання можуть бути як з прозорих тіл з'єднання та і з непрозорих тіл для клейового з'єднання.

1.1 Галузі застосування клейових з'єднань

Композити широко використовуються в різних галузях машинобудування, включаючи автомобільну, аерокосмічну та будівельну галузі. Для таких надважливих галузей виробництва та наукового прогресу використовують гібридні композити, що виготовлені з двох або більше різних типів армувань. Такі типи армувань композицій клею демонструють покращені механічні властивості, що необхідні для передових інженерних рішень. Останнім часом було вирішено кілька питань у композитах протягом останніх кількох років завдяки розробці нових матеріалів, нових методів та моделей гібридних з'єднань, про що зазначають автори статті [1].

Багато компонентів клею, що використовують в автобудуванні, для початку з'єднують між собою або постійним або тимчасовим кріпленням, наприклад, як заклепками, зварювальним з'єднанням або ж склеюються стиками. Все більшого використання склеєних конструкцій передбачається для зменшення кількості кріпильних елементів і заклепочних з'єднань. Це відбувається за рахунок різкого зниження вартості збірки. Адгезивне склеювання успішно застосовується в багатьох технологіях. У цій роботі [1] розглядаються та обговорюються наукові роботи щодо клейкозв'язаних композитів та гібридних композитів. Кілька таких параметрів, як обробка поверхні,

конфігурація швів, властивості матеріалу, геометричні параметри, режими відмов тощо, що впливають на продуктивність клейового з'єднання.

По мірі розширення нових застосувань у галузі з'єднання композитів та клейових з'єднань, обов'язково потрібно використовувати інформацію про декілька клеїв та їх поведінки в різних умовах навколишнього середовища та автори пропонують розробити поліпшену структуру адгезивного з'єднання.

Отже резюмуємо композити - це багатозфазна система, отримана комбінуванням двох або більше різних матеріалів, які змішуються між собою для забезпечення певних властивостей. Окремі матеріали не змішуються і не зливаються повністю в композиті. Однак вони діють разом як єдине ціле. Властивості композиційного матеріалу перевершують властивості окремих матеріалів, з яких він виготовлений або сформований. Багато композиційних матеріалів мають щонайменше один підсилюючий елемент у вигляді волокон, частинок, пластівців, тканини тощо, які забезпечують міцність композиту. Композити, що містять більше одного типу арматури, зазвичай називають «гібридними композитами». Термін «гібрид», як правило, використовується для позначення включення двох або більше різних матеріалів в одну єдину систему, і кількість додавання може бути або в малому масштабі (волокна, тощо) або у великому масштабі (шари, пультрузи, ребра тощо). Композити також класифікуються як армовані частинками, армовані волокнами та сандвічі або ламіновані структури, заснована на геометрії армуючих матеріалів [1].

Тому хочемо зробити певний висновок для себе, що нам необхідно враховувати той момент, що те, що ми можемо прийняти за дефект, насправді є композитом клею. Звісно все залежить від розмірів композитів клею, як ми вже зазначали, що вони можуть бути розміром з мікромметр, а такий малий розмір ми навряд чи зможемо виміряти нашою спроектованою оптико-електронною системою. А от якщо розмір композиту від 1 міліметра, тоді ми можемо врахувати такий композити.

Хочемо зазначити, що автори наукової роботи, з якої ми брали матеріал для огляду, зазначили інформацію про підсилення в композитах клею [1]. Отже, зазначимо ще і цю інформацію. Залежно від розміру та призначення клею, композиції клею підсилюють так званою арматурою, що зазвичай класифікується як частинки (звичайні, неправильні, тощо) безперервного волокна, короткого волокна, нетканого полотна, тканого полотна. Такий варіант поєднання наведено на рисунку 1.1.

Як зазначають фахівці та автори наукових статей, що ми обрали для огляду, композити, що зміцнені частинками мають розмір від мікрометру до декількох сантиметрів, також мають правильну або неправильну форму із порівняно дрібними або грубими частинками.

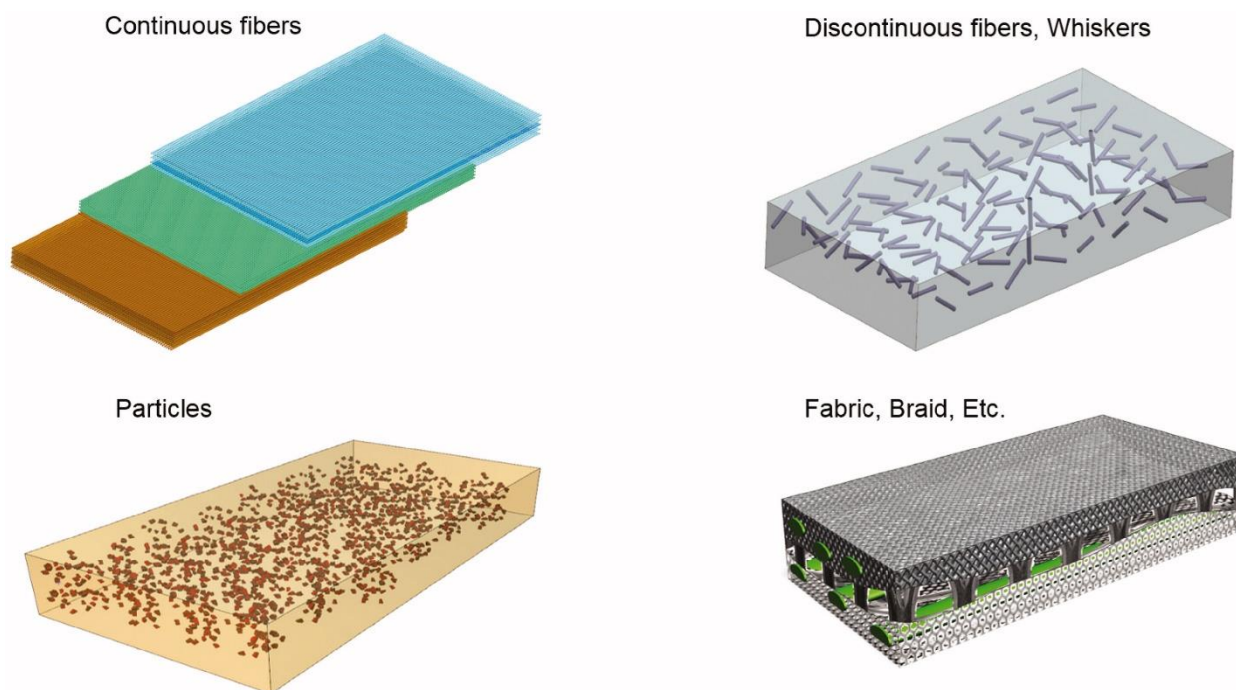


Рисунок 1.1 - Підсилення в композитах клею [1]

1.2 Огляд композитів (композицій) клею

Композити, заповнені частинками арматури, призначені для отримання незвичних комбінацій властивостей клею, а не для підвищення міцності. Вони розрізняються на основі зміцнювального механізму, тобто дисперсійно-зміцнених композитів, композитів з великими частками тощо. Хочемо зазначити,

що всім відомим композитом у світі є бетон. Це один із таких твердих частинок, що має підсилюючий ефект від змішування заповнювачів, піску та цементу через хімічні речовини взаємодії при налаштуванні.

1.2.1 Армовані волокнами композити клею

Розглянемо приклад армованої волокнами пластмаси (FRP), що також має назву армовані волокнами полімери, такий матеріал є композитним матеріалом, що має полімер за матрицю, а волокно за арматуру. Волокна у таких композиціях є зазвичай скловолокном, вуглецевим волокном, арамідним волокном або природнім волокном, наприклад такі як базальт, джут, сизаль, льон, койра тощо. Полімером, як правило, є термореактивна смола, така як епоксидна смола, вініловий ефір, ненасичений поліефір або фенолформальдегід. FRP зазвичай використовуються в аерокосмічній, автомобільній, морській, будівельній та будівельній техніці.

Як правило, композити, армовані суцільним волокном, демонструють високу міцність і жорсткість. Переривчасті короткі волокна використовуються лише тоді, коли економіка виробництва диктує використання технологічного методу.

1.2.2 Структурні композити клею

Структурні композити - це особливий клас композитів, і їх характеристики залежать не тільки від властивостей складових матеріалів, але й від геометричного дизайну різних конструктивних елементів. Ці композити класифікуються на два класи, а саме ламінарні композити та сендвіч-структури.

Матеріали металевих листів, бавовни, паперу, тканих скляних волокон тощо, що використовуються для виготовлення ламінарних композитів, вбудовані в пластикову матрицю. Прикладами ламінарних композитів є тонкі покриття, більш товсті захисні покриття, облицювання, біметаліки та ламінати. Багато

ламінарних композитів призначені для підвищення корозійної стійкості, зберігаючи при цьому переваги низької вартості, високої міцності та легкої ваги.

Сендвіч-структури складаються з тонких шарів облицювального матеріалу, з'єднаних із легким серцевинним матеріалом, затиснутим між облицюванням, як показано на рисунку 1.2. Ні наповнювальний матеріал, ні облицювальний матеріал не є міцними або жорсткими, щоб забезпечити міцність, але композит має обидві властивості [2]. Приклад: гофрований картон.

Типові лицьові матеріали включають алюмінієві сплави, армовані волокнами пластмаси, титан, сталь та фанеру. В якості основних матеріалів використовуються спінені полімери, синтетичні каучуки, неорганічний цемент, деревина бальзи тощо. Сендвіч-конструкції використовуються в багатьох додатках як покрівля, підлога, стіни будівлі та в літаках для ділянки крил, обшивки фюзеляжу та задньої площини.

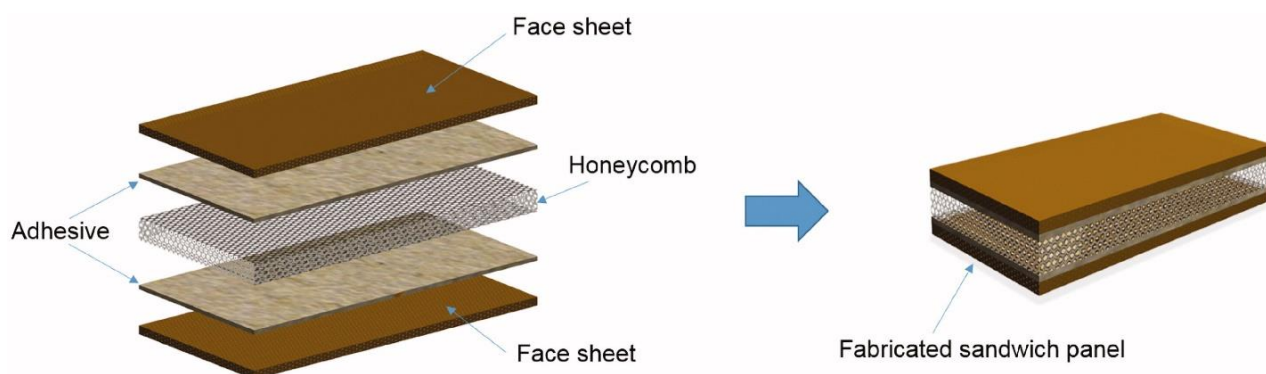


Рисунок 1.2 - Сендвіч-структури клеєного з'єднання [1].

1.3 Дефекти композиційної структури

У порівнянні з металами, структурні композити більш схильні до пошкоджень. Дефекти зазвичай виникають під час виробничого процесу, головним чином через неправильну кількість композитних шарів, неправильну температуру затвердіння, поганий вибір смоли, включення чужорідних тіл або неправильні умови обробки. Найпоширеніші дефекти та їх причини перераховані в таблиці 1. Найпоширенішими дефектами, що спостерігаються в склеєних клейових з'єднаннях, є розшарування та розклеювання. Ці дефекти

зумовлені захопленням повітря, надмірним каталізатором, поширенням тріщин через матрицю та відсутністю міцності зчеплення тощо.

1.3.1 Методи з'єднання в композитів клею

Зазвичай, для з'єднання композитів використовуються механічні кріплення та клеї або обидва способи одразу. Техніка з'єднання, що використовується на конкретному композиті, залежить від нанесення та характеристик матеріалу. Наприклад, композити, що використовуються в літаках, зазвичай поєднуються комбінацією механічних кріплень та клеїв композитів, що використовуються в автомобілях, або ж мають з'єднання лише клеєм. Механічні кріплення, такі як заклепки, шпильки, двокомпонентні болти та глухі кріплення з титану, нержавіючої сталі та алюмінію використовуються для композитних швів. Типи техніки з'єднання проілюстровані на рисунку 1.3.

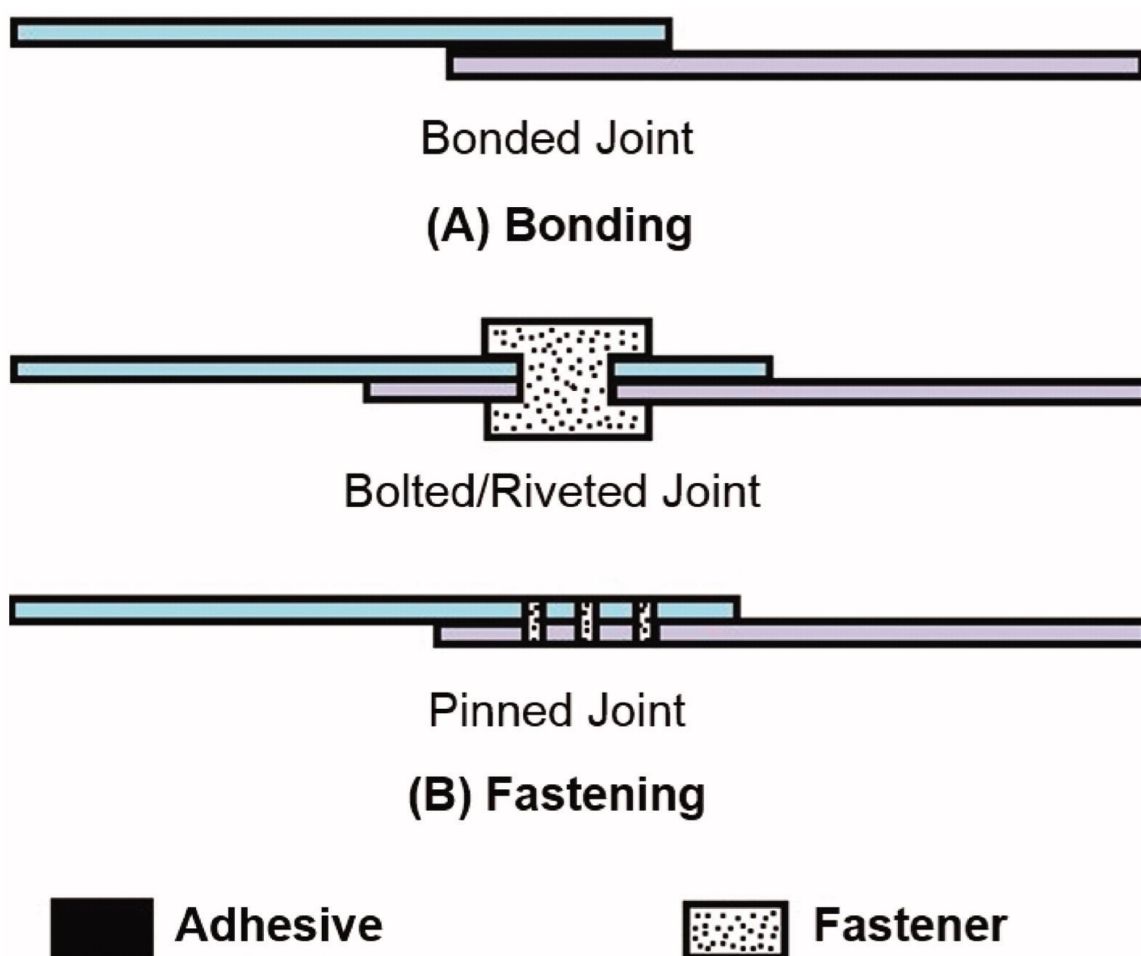


Рисунок 1.3 - Типи техніки клеєного з'єднання [1].

Адгезивне зчеплення настільки бажане, коли його порівнюють із заклепуванням, зварюванням та багатьма іншими механічними кріпленнями завдяки наступним перевагам[1]:

1. Тонкі калібровані матеріали можуть використовуватися з метою зменшення ваги та економії витрат. Крім того, спрощена конструкція може бути використана для зменшення кількості виробничих компонентів.

2. Зменшення або виключення таких механічних операцій, як фрезерування, механічна обробка та формоутворення.

3. Велика площа склеювання може бути підготовлена з мінімальною силою зв'язування без спеціальних навичок.

4. Покращена аеродинаміка, плавність та зовнішній вигляд.

5. Герметизація та стійкість до корозії стиків при з'єднанні несумісних дотиків.

6. Покращена електрична та теплоізоляція.

7. Втомна стійкість у двадцять разів вища, ніж у клепаных конструкцій для однакових елементів.

8. Чудові амортизаційні характеристики та зниження рівня шуму в порівнянні із заклепками.

9. Толерантність до змін коефіцієнтів теплового розширення при приєднанні різних прихильників.

1.4 Особливості клейових з'єднань об'єктів

Хочемо зазначити, що клейові з'єднання бувають різні. Розглянемо, як описують особливості клейових з'єднань світові автори. Наведемо ці приклади. Клейові з'єднання широко використовуються на етапі виготовлення сучасних автомобільних та залізничних транспортних засобів, оскільки вони доповнюють інші способи з'єднання, такі як точкове зварювання, зварювання пайкою, клепа́ння та лазерне зварювання. Це пов'язано насамперед із можливістю з'єднання різних матеріалів (наприклад, скло зі сталлю, сталь з алюмінієм,

алюміній зі склом тощо). Іншими перевагами використовуваних клейових з'єднань є рівномірний розподіл напруги по всьому з'єднанню та відсутність пошкодження цинкового покриття, що захищає сталь від корозії. Крім того, клей придушує виникаючі вібрації та герметизує елементи панелі кузова, з'єднані з корпусом кузова, наприклад, з'єднання панелі кузова з конструкцією даху, вітрове скло з корпусом кузова. Найчастіше використовувані клеї на стадії виготовлення кузовів автомобілів та залізничних кузовів - це епоксидні клеї, полімери МС (модифікований силановий клей), поліуретанові клеї та клеї з підвищеним модулем пружності для з'єднання скла зі сталевими деталями [2].

Оцінка якості з'єднань скло-клей-сталь має все більше значення, і тому вимагає все більшої уваги. За даними Міжнародної організації виробників автотранспортних засобів OICA (Organization Internationale des Constructeurs d'Automobiles), щороку лише ринок автобусів у світі збільшується майже на 300 000 нових транспортних засобів. У кожному з них є щонайменше десяток плоских скляних поверхонь вікон, з'єднаних у сталеву раму. У поєднанні з потребами. Разом із потребами залізничного ринку, де виникають подібні рішення для скляно-сталевих з'єднань, потреба в розробці ефективних процедур випробувань для цього типу з'єднань набуває важливого значення.

Отримання дефектів (особливо технологічних), що виникають на стадії виробництва автомобіля. Сюди входять розчеплення та відсутність нерівностей поверхні заповнення, спричинених неправильною підготовкою.

А саме присутній технологічний недолік, що визначається частковою або повною відсутністю затвердіння клейового з'єднання, в результаті неправильно приготованого клею або неправильних умов затвердіння, таких як, наприклад, час, температура та вологість повітря. Не менш важливим технологічним дефектом з'єднання є відсутність клею в місцях з'єднання в результаті машинних або людських помилок. До цієї ж групи дефектів належать пористість і бульбашки повітря в суглобі в результаті неправильного нанесення клею та

неправильного склеювання матеріалів, що склеюються. Основні технологічні дефекти клейових з'єднань показані на рисунку 1.

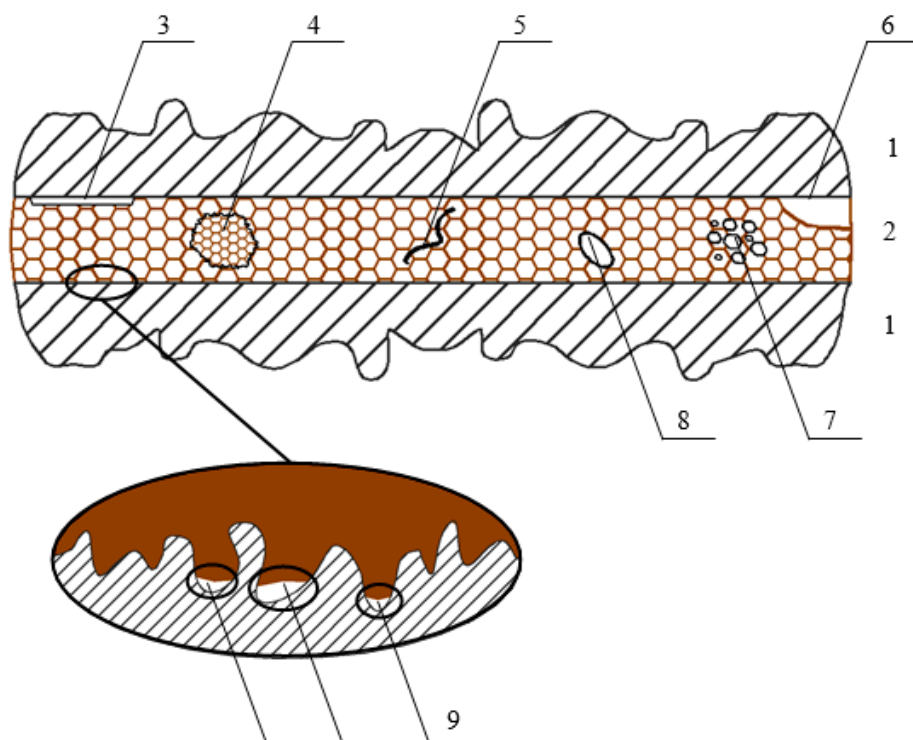


Рисунок 1.4 - Технологічні дефекти клейових з'єднань: 1 - з'єднані матеріали, 2 - клей, 3 - розклеювання, 4 - відсутність затвердіння клею, 5 - тріщина, 6 - відсутність клею, 7 - пористість, 8 - бульбашка повітря, 9 - відсутність заповнення нерівностей (дефектів) на поверхні [2]

У поєднанні з потребами залізничного ринку, де виникають подібні рішення для скляно-сталевих з'єднань, потреба у розробці ефективних процедур випробувань для цього типу з'єднань набуває важливого значення. Тому існує необхідність огляду і таких з'єднань скла з металом.

Застосування передових адгезивних технологій не є гарантією отримання клейових швів без дефектів (особливо технологічних), що виникають на стадії виробництва автомобіля. Сюди входять розчеплення та відсутність нерівностей поверхні заповнення, спричинених неправильною підготовкою. Крім того, технологічний недолік також визначається частковою або повною відсутністю затвердіння клейового з'єднання в результаті неправильно приготованого клею

або неправильного затвердіння, умови, такі як, наприклад, час, температура та вологість повітря.

Типовим дефектом клейових з'єднань ключового значення є відсутність клею в області, де його слід застосовувати відповідно до виробничої документації технічного об'єкта. Проблема відсутності клею в місцях, призначених для склеювання або клейового шляху, досить часто зустрічається в реальних виробничих умовах. Розглянемо такий приклад на рисунку 1.5.

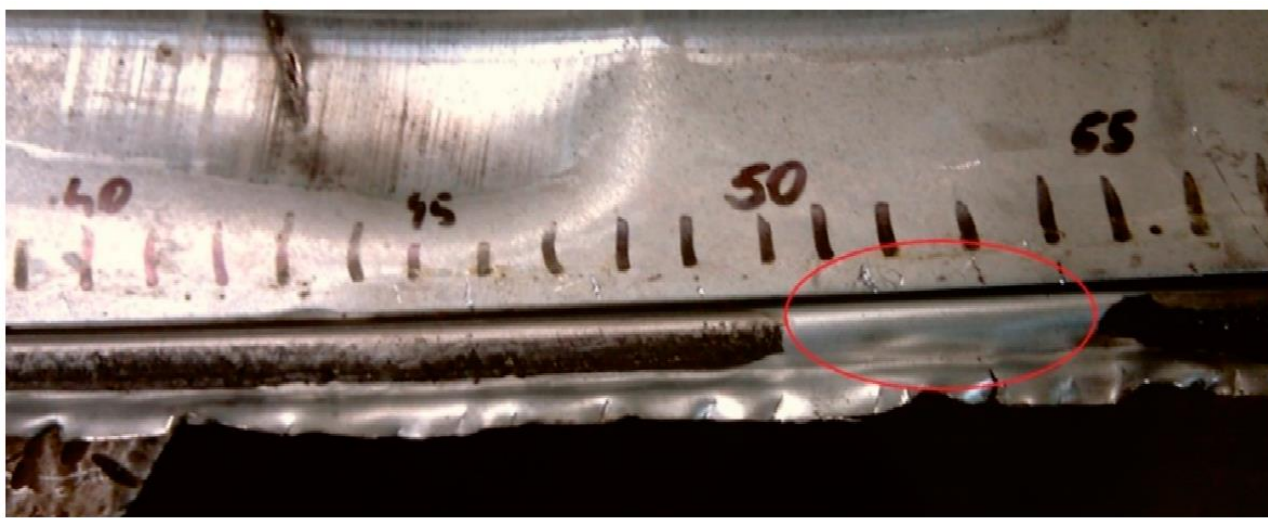


Рисунок 1.5 - Приклад дефектів суглобового з'єднання - відсутність клейового шляху

Це обумовлено впливом структурних (неправильно спроектована форма вузла) або технологічних (деформація адгезивного вузла або помилки в застосуванні клею) факторів. Переважно використання простих методів візуального огляду неможливе. Скляні елементи часто покриті непрозорим шаром, що збільшує адгезію клею, що, як наслідок, обмежує можливість візуальної оцінки. Крім того, слід підкреслити, що існують великі відмінності у фізичних властивостях матеріалів окремих елементів, що складають з'єднання. Тому важливо розробити та застосовувати неруйнуючі процедури, засновані на різних методах, які дозволяють розташувати клейовий шлях, нанесений між двома з'єднаними матеріалами. Існує ряд методів, які можуть надати відповідні дані, які допоможуть оцінити клейові з'єднання. Не завжди можливо провести

перевірку з обох сторін випробовуваного компонента. Отже, одним з основних критеріїв для отримання високої ефективності є можливість використання даної техніки для отримання даних із повного перерізу суглоба, застосовуючи його лише на одній стороні компонента. Однак слід підкреслити, що не існує єдиного методу отримання інформації про всі можливі аспекти шаруватої структури, що перевіряється. Тому важливо проводити перевірку з кількох джерел, використовуючи набір методів, заснованих на різних фізичних основах, що дозволяє отримати додаткову інформацію та створити більш повний набір або підвищити впевненість у правильній оцінці випробовуваного суглоба. Як результат, такі численні результати можуть бути об'єднані та виражені як єдині, щоб забезпечити більш широкий спектр інформації про стан компонента в одній формі [2].

Враховуючи діелектричні властивості матеріалів (таких як скло або клей), що будують з'єднання, інтерес до електромагнітних методів, що працюють у високочастотних смугах поля, зростає.

Тут можна розрізнити терагерцовий метод. Завдяки технологічному прогресу та зменшенню витрат на компоненти вимірювальної системи ці методи знаходять все більшу зацікавленість дослідників. Спостережуване явище, що супроводжує взаємодію високочастотних електромагнітних хвиль, створює можливості для отримання інформації з різних глибин випробовуваного матеріалу. Група методів, заснованих на використанні високочастотних електромагнітних полів, також може бути значно доповнена методом інфрачервоної термографії. Моніторинг інфрачервоних випромінювань досліджуваного об'єкта дозволяє, перш за все, виявити наявні аномалії у всьому об'ємі об'єкта. У той же час, використовуючи відповідні процедури вимірювання та аналізу зображень, можна також провести більш точну оцінку на окремих глибинах матеріалу. Цей метод все частіше застосовується у багатьох промислових програмах. Це дозволяє швидко перевірити як глобальний (відносно великі елементи), так і локальний (у вибраних районах) масштабах.

Згадані високочастотні електромагнітні методи - це група методів з високим потенціалом розвитку. Однак вони не належать до найбільш часто використовуваних у галузі спільних випробувань і все ще потребують подальшого розвитку та стандартизації. У цій галузі одним із найбільш часто використовуваних методів вимірювання є ультразвукове тестування, яке використовує явище поширення звукової хвилі в досліджуваному елементі та спостереження хвилі відгуку. Незважаючи на широке використання, ця техніка постійно розробляється, і нові підходи до вимірювання все ще впроваджуються на практиці. Він також може надати інформацію про суглобову структуру, хоча це пов'язано з різницею в швидкості поширення звуку в матеріалі. У наступному розділі будуть розглянуті основні властивості всіх цих методів дослідження.

1.5 Висновок до розділу 1

Наша робота над першим розділом магістерської дисертації розпочалась з аналітичного огляду дефектів клейових з'єднань. Нами розписано види композитів клею, їх складових, особливостей з'єднання об'єктів, що будуть склеюватись. Як виявилось склеювати можна не тільки скляний об'єкт з скляним об'єктом, а навіть скляний об'єкт з металом. Великої уваги ми придали аналізу композитів та домішок, що покращують не тільки міцність, а змінюють властивості клею. І такі спеціалізовані клеї використовують все для більшої та більшої кількості галузей. Особливо широкого попиту набувають такі спеціалізовані клеї для будівництва аерокосмічних вузлів та в автомобілебудуванні. Застосування клеїв дозволяє інженерам зменшити кількість кріпильних деталей. Такий огляд дозволив нам зазначити для себе особливість, що домішки у композиціях клею можуть бути розміром від 1 мікрометру до 1 міліметру, і нам необхідно виокремлювати їх та розрізняти з тілом дефекту.

Ми навели приклад технологічних дефектів клейових з'єднань у першому розділі магістерської дисертації. Такий приклад чітко дає нам уявлення

утворення дефектів, бульбашок повітря, що утворюються через неправильну, чи недосконалу технологію склеювання. Хочемо зазначити, що ми будемо проектувати оптико-електронну вимірювальну систему, об'єктом вимірювання для якої буде клейове з'єднання скляних тіл (прозорих).

В нашій роботі у нас не буде змоги професійно провести склеювання скляних поверхонь, проте, перед нами не стоїть така задача. А задача є наступною – виявлення дефектів склеювання оптико-електронною системою. І наш недолік перетворюється у перевагу, таким чином ми створюємо умови для проведення експериментальних досліджень з виявлення дефектів.

РОЗДІЛ 2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МАКЕТ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Наступним кроком для виконання поставлених завдань магістерської дисертації є проектування експериментального макету оптико-електронної вимірювальної системи для виявлення дефектів клеєних з'єднань скляних поверхонь.

Отже, розпочнемо проектувати оптико-електронну вимірювальну систему з розробки структурної схеми та підбору його структурних елементів та вузлів з переліку запропонованих видів електроніки та оптики. Особливої уваги ми приділимо вибору телевізійної камери з ПЗЗ-матрицею, оскільки, саме для цього вузла ми будемо проводити ряд експериментальних досліджень присвячених пошуку шумів на матриці та причин їх наявності й звісно розробці методу їх усунення.

2.1 Структурна схема оптико-електронної вимірювальної системи

Розробку структурної схеми та підбір його структурних елементів та вузлів з переліку запропонованих видів електроніки та оптики розпочнемо з загального виду оптико-електронної вимірювальної системи. Ми будемо проектувати лабораторний макет, оскільки, вимірювальною системою ми зможемо назвати дану вимірювальну систему після проведення ряду експериментальних досліджень та введення її у експлуатацію.

Ми будемо виконувати тільки ті завдання, що поставленні у технічному завданні до магістерської дисертації. А значить нам достатньо розробити лабораторний макет.

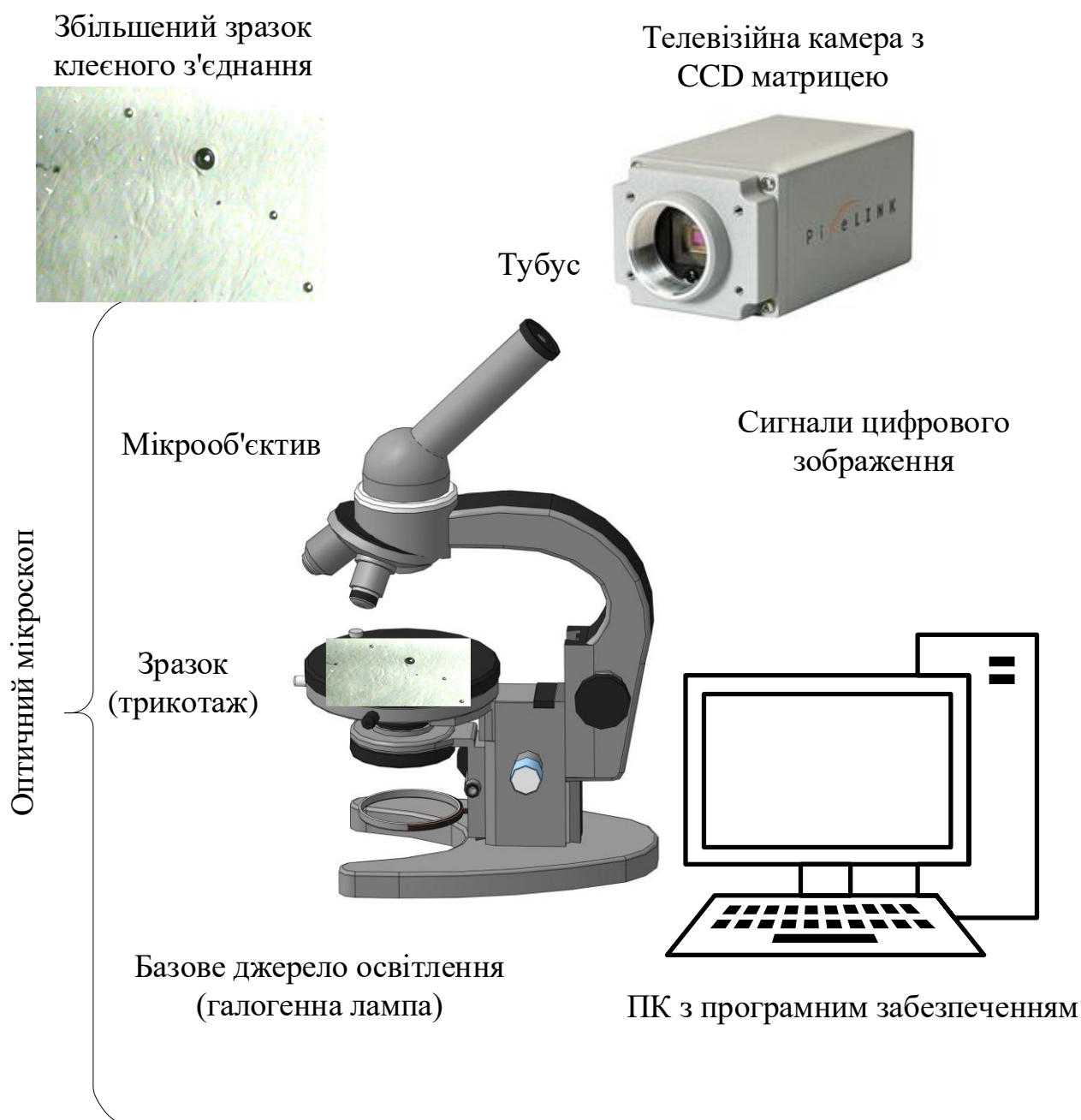


Рисунок 2.1 – Узагальнена структурна схема оптико-електронної вимірювальної системи дефектів клеєних з'єднань

З узагальненої структурної схеми оптико-електронної вимірювальної системи дефектів клеєних з'єднань ми бачимо, що основним елементом ми обрали оптичний мікроскоп. Такий вибір ми здійснили на користь саме оптичного мікроскопу, а не металографічного через його доступність на кафедрі, де виконувались експериментальні дослідження. Він більш зручний у використанні, хоча в нас був вибір, і на кафедрі є два металографічні мікроскопи.

Наступним вузлом, який входить до конструкції оптико-електронної вимірювальної системи, є телевізійна камера саме з ПЗЗ-матрицею CCD, а не з CMOS. Вибір світлових фільтрів нам дозволить регулювати випромінювання, що надходить до матриці камери. Звісно, нам необхідно застосувати оптичний об'єктив для збільшення тіла дослідження та виявлення дефектів клеєних з'єднань. Зазвичай такі дефекти можуть мати розміри від мікрометрів до декількох міліметрів. Хоча іноді можуть виникати дефекти і значно більші, але їх видно і без вимірювальних систем.

2.1.1 Вибір та обґрунтування основного тіла вимірювальної системи, мікроскопу

Основним тілом майбутньої оптико-електронної вимірювальної системи є мікроскоп. Ми вже зазначали, що ми обираємо серед оптичних мікроскопів або металографічних мікроскопів. Такий вибір ми зупинили серед великої кількості різних типів мікроскопів, через зручність проведення досліджень на них, наявність у лабораторіях кафедри де проводили дослідження та навчання.

Розглянемо особливості оптичних мікроскопів та металографічних. Для того, щоб визначити особливості проектування нашої оптико-електронної вимірювальної системи для контролю дефектів клейових з'єднань. Система освітлення у кожного з цих мікроскопів властива тільки їм, для оптичного мікроскопу це зазвичай галогенна лампа, що налаштована над або під об'єктом дослідження. А у металографічного мікроскопу система освітлення більш складна, в ній використана система оптичних призм та лінз.

Як відомо, гнучкі світлові та електронні мікроскопи є неодмінними характеристиками кожної лабораторії металографії, незалежно від того, розробляєте ви нові сплавні матеріали або проводите контроль якості для забезпечення чистоти сталі. Вимірювання певних параметрів, таких як вміст неметалевих включень або аналіз зерна, визначається суворими стандартами та

нормами. Металографія використовується для дослідження металів від міді та титану до заліза, сталі та сплавів будь-якого опису. Ці дослідження проводяться кількісно та надійно з використанням спеціальних програмних модулів та автоматизованих мікроскопічних систем.

Також хочемо зазначити основні властивості мікроскопу та особливості об'єктів, які він вимірює. Хочемо зазначити, що мікроструктура металів суттєво визначає такі властивості, як міцність та корозійна стійкість. Тому детальне дослідження мікроструктури за допомогою мікроскопії є центральним для металургійних дисциплін, а також для багатьох галузей промисловості. Особливості, що цікавлять металографічне вивчення мікроструктури, включають розмір зерен, межі зерен, фази, фазове перетворення та об'ємні частки, включення, морфологію та смуговість. Отже, як відомо основні метали піддаються спеціальній обробці, щоб підготувати їх до конкретних застосувань та поліпшити їх характеристики, наприклад, додаванням легуючих елементів. У багатьох випадках дослідження мікроскопії зосереджується на кореляції між отриманою мікроструктурою та властивостями матеріалу. Мікроскопічний аналіз з використанням вертикальних, інвертованих або поляризаційних мікроскопів, яскравих і темних полів, а також електронних мікроскопів. Кожен з них відіграє важливу роль у перевірці ефектів лікування та оптимізації параметрів обробки.

До переваг вибору металографічного мікроскопу слід також віднести те, що контрастні методи відбитого світла в результаті яскравого поля найкраще підходять для аналізу мікроструктур травлених поверхонь. Визнаючи межі зерна, ви можете зробити висновки щодо розмірів зерен, фаз та структурних складових. Домішки та структурні компоненти, такі як графіт у чавуні, перед травленням стають помітними. Темне поле відбитого світла виявляє механічні дефекти поверхні, такі як місця руйнування, пори та включення, а також тріщини, подряпини та порожнини. Використовуйте поляризаційний контраст для аналізу структури анізотропних матеріалів, таких як магній, алюміній, бронза та латунь.

За допомогою скануючих електронних мікроскопів поверхня металу може бути відполірована і не відшліфована, але вона повинна бути електропровідною. Тому на непровідні матеріали потрібно наносити дуже тонке металеве покриття.

Розглянемо переваги застосування оптичних мікроскопів та особливості об'єктів, що контролюють за їх допомогою. Оптичний мікроскоп, також іноді відомий як світловий мікроскоп, використовує одну або серію лінз для збільшення зображень невеликих зразків видимим світлом. Лінзи розміщують між зразком та оком глядача, щоб збільшити зображення, щоб його можна було детальніше розглянути.

Існує безліч типів оптичних мікроскопів. Вони можуть варіюватися від самого базового дизайну до високої складності, що забезпечує вищу роздільну здатність і контрастність. Деякі типи оптичних мікроскопів включають наступне:

1. Простий мікроскоп: одинарна лінза для збільшення зображення зразка, подібна до лупи.
2. Складений мікроскоп: серія лінз для збільшення зразкового зображення до більш високої роздільної здатності, що частіше використовується в сучасних дослідженнях.
3. Цифровий мікроскоп: може мати прості або складені лінзи, але використовує комп'ютер для візуалізації зображення без необхідності окуляра для перегляду зразка.
4. Стереомікроскоп: забезпечує стереоскопічне зображення, корисне для дисекції.
5. Порівняльний мікроскоп: дозволяє одночасно переглядати два різні зразки, по одному в кожному оці.
6. Перевернутий мікроскоп: розглядає зразок знизу, що корисно для дослідження рідких культур клітин.

Відомі також інші типи оптичних мікроскопів включають петрографічний, поляризаційний, фазово-контрастний, епіфлуоресцентний та конфокальний мікроскопи.

2.1.1.1 Лабораторний оптичний мікроскоп OPTO-EDU типу A11.0101

Розпочнемо наш аналітичний огляд з вибору мікроскопу для побудови оптико-електронної вимірювальної системи дефектів клейових з'єднань з огляду мікроскопу OPTO-EDU типу A11.0101. Даний мікроскоп відноситься до оптичних мікроскопів. Хочемо зазначити, що модель є більш менш доступною, а саме її вартість становить 1100 доларів США. Ми зазначили вартість мікроскопу одразу на початку огляду, адже для нас це також є важливим критерієм при виборі мікроскопу, бо нам необхідно створити справжню модель лабораторного макету вимірювальної системи.



Рисунок 2.2 – Зображення лабораторного оптичного мікроскопу OPTO-EDU типу A11.0101

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики лабораторного оптичного мікроскопу OPTO-EDU типу A11.0101

Збільшення	40х-640х
Головка	Монокулярна головка, нахилена на 30°, поворотна на 360°
Окуляр	Ramsden WF10X / 18мм
Об'єктиви	Ахроматичний 4х / 0.10
	Ахроматичний 10х / 0,25
	Ахроматичний 40х / 0,65, Spring
Насадка	Потрійний обертовий наконечник
Столик	Квадратний столик зі зразками затискачів
Фокусування	Окремі ручки грубого та тонкого фокусування з верхньою пробкою
Конденсатор	Конденсатор з дисковою діафрагмою
Джерело світла	Дзеркальна лінза 48 мм із тримачем
	Основа з лампою розжарювання 220 В / 110 В 20 Вт

Оптичний мікроскоп OPTO-EDU типу A11.0101 є зразком, що заслуговує нашої уваги, до його переваг можемо віднести світлодіодне джерело освітлення, як відомо таке джерело рівномірно розподіляє світло над об'єктом контролю, також слід віднести до переваг комплект об'єктивів (ахроматичний 4х / 0,10; ахроматичний 10х / 0,25; ахроматичний 40х / 0,65, spring), як відомо сучасні виробники не завжди до комплекту мікроскопу додають об'єктиви, щоб знизити вартість.

2.1.1.2 Оптичний мікроскоп типу TELMU 40X-1000X

Мікроскоп TELMU 40х-1000х є подвійним, бездротовим, з світлодіодним підсвічуванням об'єкту дослідження. Цю модель також називають

лабораторною. До його складу входять оптичні лінзи та мікро об'єктиви. Налаштування збільшення у даного мікроскопу здійснюється за рахунок обертових об'єктивів 4х, 10х та 40х з окулярами 10х, 25х, що надає оптичному мікроскопу більше збільшення: 40х, 100х, 250х, 400х та 1000х.



Рисунок 2.3 – Зображення мікроскопу типу TELMU 40X-1000X

Хочемо зазначити основні характеристики цієї моделі мікроскопу у таблиці, що наведена нижче.

Таблиця 2.2 - Технічні характеристики оптичного мікроскопу типу TELMU 40X-1000X

Збільшення	4х – 1000х
Об'єктиви	4х
	10х
	40х
Столик	Простий предметний столик зі зрізним затискачем; розмір 90 x 90 мм
Система фокусування	Курс / Точний діапазон 8 мм
Потужність світлодіоду	0,25 Вт

Освітлення об'єкту мікроскопу типу TELMU 40X-1000X має комбінований вузол освітлення з світлодіодів. За допомогою таких джерел світла ми можемо досліджувати та спостерігати за непрозорими предметами, такими, що освітлені зверху, досліджувати напівпрозорі зразки та досліджувати такі об'єкти, що освітлені знизу. Хоча необхідно зазначити, що використовувати одночасно два типи освітлення або більше не є можливим. Живлення світлодіодних джерел світла відбувається за рахунок 3 батарейок типу AA (1,5 В).

Металева основа мікроскопу має масивну стелу, що усуває вібрації при дослідженні. Система фокусування виконана як у класичному оптичному мікроскопі, а саме за допомогою регульованого ручного колеса, яке дозволяє зразку підніматися, щоб створити зображення більш чітким. Наведемо приклади об'єктів дослідження, що запропонував оглянути виробник на рисунку 2.4.

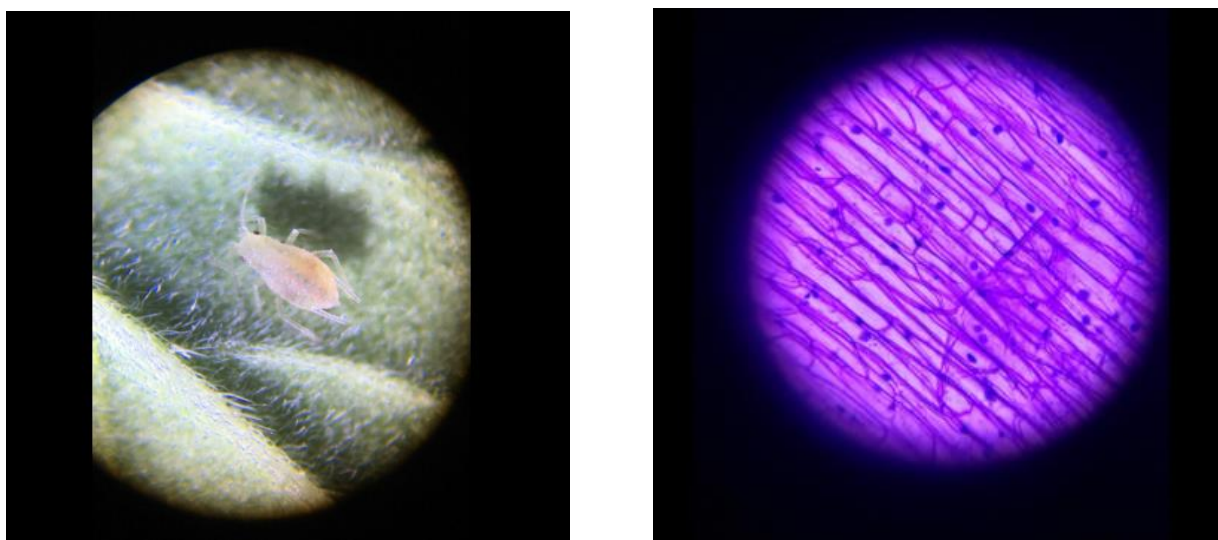


Рисунок 2.4 – Приклади об'єктів дослідження мікроскопом TELMU 40X-1000X

Обробку отриманих зображень об'єктів досліджень можна виконувати далеко від місця експериментального дослідження, адже дана модель мікроскопу має можливість передавати дані у режимі реального часу. Включений адаптер стільникового телефону з окуляром дозволяє захоплювати та фіксувати зображення об'єкту за допомогою смарт-телефону.

2.1.1.3 Оптичний мікроскоп типу МБР-1

Хочемо навести коротку характеристику для оптичного мікроскопу МБР-1, що є у наявності в лабораторіях кафедри. Можливо цей зразок мікроскопу не є таким сучасним, як попередні два, що описані у пунктах (2.1.1.1 та 2.1.1.2) проте він може задовольняти всім нашим вимогам щодо мікроскопу для побудови оптико-електронної системи. Окрім того, що даний мікроскоп є у наявності, до переваг слід віднести наступне: у його комплект входять об'єктиви для збільшення зображення у кількості 5 штук. Їх збільшення дорівнює від 8х до 90х.

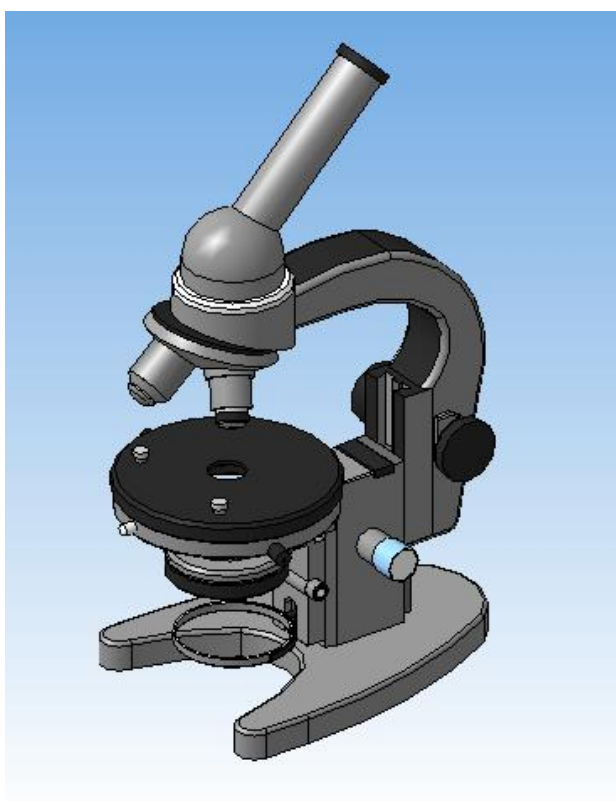


Рисунок 2.5 – Зображення оптичного мікроскопу типу МБР-1

Проте до недоліків цього мікроскопу слід віднести джерело освітлення об'єкту, а саме галогенна лапа. Хоча нас може задовольнити і таке освітлення, оскільки основною метою нашою магістерської дисертації є підвищення точності вимірювання дефектів клейових з'єднань оптичних деталей шляхом дослідження ПЗЗ-матриці оптико-електронної системи. А дослідити результати

вимірювання дефектів до та після усунення шумів на матриці, ми зможемо і з такою моделлю мікроскопу.

2.1.1.4 Металографічний мікроскоп типу IM-3000

Також ми хочемо виконати огляд металографічних мікроскопів з перспективою застосування у нашій вимірювальній системі. Наш огляд металографічних мікроскопів ми розпочали з моделі IM-3000



Рисунок 2.6 – Зображення металографічного мікроскопу типу IM-3000

Хочемо зазначити основні характеристики цієї моделі металографічного мікроскопу у таблиці 2.3, що наведена нижче.

Таблиця 2.3 - Технічні характеристики оптичного мікроскопу типу TELMU 40X-1000X

Окуляр:	Широкопольовий WF10X (поле No 20 мм)
Об'єктиви:	Нескінченний план Ахроматичний 4X / 0,1
	Нескінченний план Ахроматичний 10X / 0,25
	Нескінченний план ахроматичний 20X / 0,4
	Нескінченний план ахроматичний 40X / 0,6
Голова тринокуляра:	Похила на 30 градусів, міжзоникова відстань 48-75 мм
Система фокусування:	Коаксіальні вугі / тонке фокусування
Механічна ступінь:	X-Y механічна ступінь
Освітлення:	Галогенна лампа 6 В / 30 Вт
Кольорові фільтри:	Сірий кольоровий фільтр
	Фільтр синього кольору
	Фільтр зеленого кольору
	Мелене скло
Електричні характеристики:	110 В / 60 Гц; 220 В / 50 Гц

До переваг металографічного мікроскопу типу TELMU 40X-1000X, на нашу думку, слід віднести: наявність широкопольового WF10X окуляру, той факт, що до комплекту входить чотири об'єктиви, що дозволить змінювати їх за необхідності, і тоді зникає необхідність докупати об'єктиви. Такої ж думки ми дотримуємось і щодо світлових фільтрів, що входять у комплект.

2.1.2 Вибір та обґрунтування телевізійної камери

Наступним кроком з вибору другого вузла, як на нашу думку навіть більш важливого чим мікроскоп, ми дивимось відносно теми нашої дисертації, є вибір телевізійної камери. Оскільки нам необхідно підвищити точність вимірювання дефектів клейових з'єднань оптичних деталей шляхом дослідження ПЗЗ-матриці

оптико-електронної системи. Ми провели огляд камер, що наведено у розділі 2, пункту 2.1.2. Обрали модель камери для проведення експериментальних досліджень. З урахуванням її демонтажу та простоти розборки корпусу, щоб дібратись до ПЗЗ матриці. Хоча частина досліджень ПЗЗ матриці у нас буде відбуватись у звичайному робочому режимі.

Як відомо, у міру розвитку технології обробки зображень типи камер та їх інтерфейси постійно розвиваються, щоб задовольнити потреби цілого ряду додатків. Для застосувань машинного зору в напівпровідниковій, електронічній, біотехнологічній, складальній та виробничій галузях, де інспекція та аналіз є ключовими, використання найкращої системи камер для даного завдання є вирішальним для досягнення найкращої якості зображення. Від аналогових та цифрових камер, до форматів прогресивного сканування та переплетеного сканування, до інтерфейсів FireWire та GigE, розуміння таких параметрів, як типи камер, цифрові інтерфейси, потужність та програмне забезпечення, забезпечує чудову можливість перейти від новачка до обробки зображень до експерта з обробки зображень.

На найбільш загальному рівні камери можна розділити на два типи: аналогові та цифрові. Аналогові камери передають безперервно електронний сигнал у режимі реального часу. Потім частота та амплітуда цього сигналу інтерпретуються пристроєм аналогового виводу як відеоінформація. Як якість аналогового відеосигналу, так і спосіб його інтерпретації впливають на отримані відеозображення. Також цей спосіб передачі даних має як плюси, так і мінуси. Як правило, аналогові камери є менш дорогими і менш складними, ніж їх цифрові аналоги, що робить їх економічно вигідними та простими рішеннями для звичайних відеопрограм. Однак аналогові камери мають верхні межі як роздільної здатності (кількість телевізійних ліній), так і частоти кадрів. Наприклад, один із найпоширеніших форматів відеосигналу в США, який називається NTSC, обмежений приблизно 800 телевізійними лініями (зазвичай 525) і 30 кадрами в секунду. Стандарт PAL використовує 625 телевізійних ліній

і частоту кадрів 25 кадрів в секунду. Аналогові камери також дуже сприйнятливі до електронних шумів, які залежать від часто ігнорованих факторів, таких як довжина кабелю та тип роз'єму.

Цифрові камери, найновіші введення та постійно стають найпопулярнішими, передають двійкові дані (потік одиниць та нулів) у формі електронного сигналу. Хоча напруга, що відповідає інтенсивності світла для даного пікселя, є безперервною, процес аналого-цифрового перетворення дискретизує це і присвоює значення градацій сірого від 0 (чорний) до $2N-1$, де N - кількість бітів кодування. Потім вихідний пристрій перетворює двійкові дані у відеоінформацію. Важливими є дві ключові відмінності, унікальні для цифрових, а не аналогових типів камер:

Цифровий відеосигнал точно такий же, коли він залишає камеру, як і коли досягає вихідного пристрою.

Відеосигнал може бути інтерпретований лише одним способом.

Ці відмінності усувають помилки як при передачі сигналу, так і при інтерпретації вихідним пристроєм через дисплей. Порівняно з аналоговими аналогами, цифрові камери зазвичай пропонують вищу роздільну здатність, вищу частоту кадрів, менше шуму та більше функцій. На жаль, ці переваги пов'язані з витратами - цифрові камери, як правило, дорожчі за аналогові. Крім того, багатофункціональні камери можуть передбачати більш складну настройку, навіть для відеосистем, які потребують лише базових можливостей. Цифрові камери також у більшості випадків обмежуються меншою довжиною кабелю. У таблиці 2.4 наведено коротке порівняння типів аналогових та цифрових камер.

Таблиця 2.4 – Порівняння аналогових та цифрових телевізійних камер

Аналогові камери	Цифрові камери
Вертикальна роздільна здатність обмежена пропускнуою здатністю аналогового сигналу	Вертикальна роздільна здатність не обмежена; пропонують високу роздільну здатність як у

	горизонтальному, так і у вертикальному напрямку
Датчики стандартних розмірів	Не обмежуючи пропускну здатність, пропонуйте велику кількість пікселів та датчиків, що призводить до високої роздільної здатності
Комп'ютери та плати захоплення можна використовувати для оцифрування, але вони не потрібні для відображення	Комп'ютер і плата захоплення (в деяких випадках) необхідні для відображення сигналу
Аналоговий друк і запис легко вбудовуються в систему	Сигнал може стискатися, щоб користувач міг передавати з низькою пропускну здатністю
Сигнал сприйнятливий до шуму та перешкод, які спричиняють втрату якості	Вихідний сигнал цифровий; невелика втрата сигналу відбувається під час обробки сигналу
Обмежена частота кадрів	Висока частота кадрів і швидкі затвори

2.1.2.1 Телевізійна камера типу M640, 1/4" Monochrome, Dalsa Genie Nano GigE PoE Camera



Рисунок 2.7 – Зображення телевізійної камери типу Basler Scout Cameras

Для початку наведемо основні технічні характеристики телевізійної камери типу M640, 1/4" Monochrome, Dalsa Genie Nano GigE PoE Camera у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики телевізійної камери типу M640, 1/4" Monochrome, Dalsa Genie Nano GigE PoE Camera

Роздільна здатність (мегапікселі):	0,30
Розміри (мм):	38,9 x 29,0 x 44,0
Частота кадрів (кадр / с):	350,00
Робоча температура (° C):	-20 ... +60
Витрата енергії:	PoE or 10-36V
Вихід відео:	GigE
Формат датчика камери:	1/4"
Пікселі (Г x В):	640 x 480
Контроль експозиції:	Програмований або через зовнішній тригер
Пристрій обробки зображень:	ON Semi PYTHON 300
Розмір пікселя, В x В (мкм):	4,8 x 4,8
Тип датчика:	CMOS
Тип роз'єму GPIO:	Samtec 10-pin

Камери Teledyne Dalsa Genie™ Nano GigE Power over Ethernet (PoE) доступні в цілому ряді сенсорів Sony Pregius та On Semiconductor CMOS. Ці камери GigE PoE забезпечують високу швидкість, низький рівень шуму та глобальні електронні жалюзі. Запатентована технологія TurboDrive™ дозволяє Genie™ Nano перевищувати стандартну частоту кадрів, забезпечуючи до 800 кадрів в секунду, зберігаючи повну якість зображення. Ці камери оснащені безліччю розширених функцій, таких як вікна з кількома ROI та система Burst

Acquisition, яка використовує вбудований буфер пам'яті для досягнення ще більш високої частоти кадрів. що робить їх ідеальними для інспекції електроніки, промислової метрології та інтелектуальних систем дорожнього руху (ITS).

Хочемо зауважити, що виробник зазначає наступне: частота кадрів, досяжна за допомогою TurboDrive™ або Burst Acquisition, може змінюватися залежно від таких факторів, як якість зображення та роздільна здатність.

2.1.2.2 Телевізійна камера типу UI-3884LE-M-GL-AF IDS

Камера IDS Imaging uEye LE USB 3.1 AF з автофокусом має рідкий об'єктив на платі. Даний тип камер забезпечують інтегрований контроль рідинних лінз, що дозволяє користувачам швидко переключатися між різними відстанями фокусування.



Рисунок 2.8 – Зображення телевізійної камери типу UI-3884LE-M-GL-AF IDS

Також хочемо зазначити основні технічні характеристики телевізійної камери типу UI-3884LE-M-GL-AF IDS.

Таблиця 2.6 - Технічні характеристики телевізійної камери типу UI-3884LE-M-GL-AF IDS

Вихід відео:	USB 3.1 Gen 1
Пристрій обробки зображень:	Sony IMX178
Тип затвора:	Global Start, прокатка

Роздільна здатність (мегапікселі):	6.40
Розмір пікселя, Г x В (мкм):	2,4 x 2,4
Частота кадрів (кадр / с):	58,00
Розміри (мм):	36 x 36 x 19,9
Кріплення:	C/CS-Mount
Тип датчика:	Progressive Scan CMOS
Формат датчика камери:	1/1.8"
Пікселі (Г x В):	3088 x 2076
Площа зондування, Г x В (мм):	7,41 x 4,98
Глибина пікселя:	12-bit

Ці камери мають компактні розміри з кріпленням для камери M12 (S-Mount) або C/CS-Mount. Камери M12 (S-Mount), що сумісні з нашими рідкооб'єктивними об'єктивами M12 Imaging Lens, тоді як камери C / CS-Mount сумісні з нашими об'єктивами рідкої лінзи Cx із фіксованою фокусною відстанню. Усі моделі оснащені десяти контактним роз'ємом вводу-виводу Molex для GPIO, тригера та спалаху. Камера має роз'єм USB 3.1 Type-C, що забезпечує живлення через USB. Рідка лінза зручно фокусується за допомогою камери за допомогою програмного забезпечення. Автофокус може дуже легко спрацьовувати за допомогою програмного забезпечення, може бути індивідуально налаштований відповідно до програми та забезпечувати ідеально чітке зображення в одну мить.

Також виробник зазначає, що камери рівня плати з відкритою електронікою призначені для системної інтеграції і можуть бути непридатними для кінцевих користувачів, а рідкі лінзи для цих камер продаються окремо.

2.1.2.3 Телевізійна камера для мікроскопу типу PL-D681MU-KIT

Мікроскопічні камери PL-D681MU-KIT призначені для зйомки зображень із високою роздільною здатністю до 15 мегапікселів та з чудовим відтворенням кольорів. Ці прості у налаштуванні камери мають вибір областей інтересу та живляться через USB для полегшення інтеграції системи. Мікроскопічні камери PL-D681MU-KIT ідеально підходять для використання в мікроскопіях яскравих і темних полів у таких областях, як гістологія, патологія чи гематологія.

Виробник наголошує на тому, що в комплект входить стандартне програмне забезпечення для мікроскопії μScore та кабель USB 3.0.



Рисунок 2.9 – Зображення телевізійної камери для мікроскопу типу PL-D681MU-KIT

Наведемо технічні характеристики камери 1.3MP Mono USB 3.0 Camera w/ μScore Standard Software and Cable номер моделі PL-D681MU-KIT у таблиці.

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики телевізійної камери для мікроскопу типу PL-D681MU-KIT

Роздільна здатність (мегапікселі):	1,30
Розміри (мм):	38,50 x 55 x 30,60
Частота кадрів (кадр / с):	150,00
Операційна система:	Software Driver: Windows 64 bit

Розмір пікселя, В x В (мкм):	4,8 x 4,8
Тип датчика:	Progressive Scan CMOS
Формат датчика камери:	1/2"
Пікселі (Г x В):	1280 x 1024
Робоча температура (° C):	0 ... +50
Витрата енергії:	Via USB 3.0 interface

Тип датчику для камери це Progressive Scan CMOS, а виходячи з технічного завдання до магістерської дисертації ми маємо провести дослідження CCD матриці камери. Тому продовжимо наш огляд.

2.1.2.4 Телевізійна камера типу Novus 130BH

Це чорно-біла версія Novus 130BH CCD-матрицею Super HAD фірми Sony. Матриця має високу роздільну здатність з порядковим переносом сигналу від кожного пікселя. Формат матриці дорівнює 1/3". Конструкція камери виготовлена таким чином, що робота камери залишається стабільною при швидкій зміні освітленості на об'єкті контролю. Також виробники заклали в цю конструкцію стійкість до електромагнітного впливу.



Рисунок 2.10 – Зображення телевізійної камери типу Novus 130BH

Зазначимо основні технічні характеристики камери, що необхідно нам знати для проектування оптико-електронної вимірювальної системи.

Таблиця 2.8 - Технічні характеристики телевізійної камери типу Novus 130BH

Пристрій зображення:	1/3 " Super HAD SONY
Елемент зображення:	752 x 582
Роздільна здатність:(телевізійних ліній)	600
Температура роботи: (°C)	-10 ... 50
Споживана потужність: (Вт)	2,75
Споживання енергії:	12BDC / 24BAC
Відношення сигнал/шум : (Дб)	Понад 48

Наш вибір телевізійної камери припав саме на цю модель. Тому ми будемо її застосовувати в конструкції оптико-електронної вимірювальної системи дефектів клейових з'єднань. Нам зручно її розібрати, зняти металевий кожух, і ця камера має матрицю (CCD) саме таку як зазначено у технічному завданні до магістерської роботи.

2.1.3 Вибір та обґрунтування світлових фільтрів

Оптичні фільтри використовуються для вибіркової передачі або виокремлення довжини хвилі або діапазону довжин хвиль. Оптичні фільтри використовуються в таких областях, як флуоресцентна мікроскопія, спектроскопія, клінічна хімія або інспекція машинного зору. Оптичні фільтри ідеально підходять для науки про життя, візуалізації, промислової або оборонної промисловості. Фірма Edmund Optics пропонує безліч оптичних фільтрів для багатьох застосувань, включаючи смугові перешкоди, виїмку, кромку, дихрою, кольорову основу або ND. Edmund Optics також пропонує високоміцні тверді

покриття для додатків, які вимагають високих оптичних щільностей з максимальною продуктивністю.

Смугові фільтри перешкод призначені для передачі частини спектра, відкидаючи всі інші довжини хвиль. Фільтри Notch відхиляють частину спектра, передаючи при цьому всі інші довжини хвиль. Крайові або дихроїчні фільтри передають довжини хвиль, які або більші за обрізану, або коротші за обрізані довжини хвиль. Фільтри кольорової підкладки використовують властиві матеріалу властивості адсорбції та пропускання, тоді як фільтри ND рівномірно зменшують пропускання через частину спектра.

2.1.3.1 Світловий фільтр типу 457, 530 & 628nm, 12.5mm Dia., Tri-Band Filter

Багатосмугові флуоресцентні смугові фільтри TECHSPEC® ідеально підходять для аналізу клітин у реальному часі та високошвидкісних зображень. Кожен оптичний фільтр покритий твердим покриттям і встановлений у корпусі з анодованого алюмінію чорного кольору. Наявність декількох смуг пропускання на одному оптичному фільтрі покращує флуоресцентні зображення та полегшує налаштування для ряду застосувань флуорофору. Кожен оптичний фільтр має високу середню передачу та відмінне блокування, забезпечуючи максимальну яскравість та контрастність у будь-якому додатку.

Такі фільтри доступні як двосмугові смугові фільтри, трисмугові смугові фільтри та чотирисмугові смугові фільтри. Ці фільтри також називаються двосмуговими, трисмуговими або чотирисмуговими фільтрами відповідно. Вони є ідеальними компонентами для спектроскопії та клінічної хімії, а також біотехнологічних інструментів, таких як ДНК-секвенсори та платформи для тестування полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР).



Рисунок 2.11– Зображення світлових фільтрів типу 457, 530 & 628nm, 12.5mm Dia., Tri-Band Filter

Наведемо нижче основні світло-технічні характеристик вфільтрів, що входять у комплект 457, 530 & 628nm, 12.5mm Dia., Tri-Band Filter у таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Технічні характеристики світлових фільтрів комплекту 457, 530 & 628nm, 12.5mm Dia., Tri-Band Filter

Діаметр (мм):	12,50 +0,0/-0,1
Мінімальна передача (%):	>90
Покриття:	Тверде покриття
Діапазон довжини хвилі блокування (нм):	250 – 1100
Прозора діафрагма СА (мм):	8,81
Кут падіння (°):	0
Товщина основи (мм):	2,00 ± 0,25
Багатосмугові центральні довжини хвиль (нм):	457, 530, 628
Оптична щільність OF (середня):	≥6,0
Пропускна здатність (нм):	22 @ 457nm 20 @ 530nm 28 @ 628nm

Якість поверхні:	60 – 40
Товщина кріплення (мм):	3,5 ±0,1

Двосмугові смугові фільтри мають чотири конструкції з довжиною хвилі смуги пропускання від 433 і 530 нм до 577 і 690 нм. Трисмугові смугові фільтри мають три конструкції з довжиною хвилі смуги пропускання від 432, 517 та 615 нм до 464, 542 та 639 нм. Чотирисмугові смугові фільтри мають конструкцію з довжиною хвилі смуги пропускання 440, 521, 607 та 700 нм.

Застосування такого комплекту світлових фільтрів при дослідженні повністю задовольняє наші потреби.

2.1.4 Вибір та обґрунтування оптичного об'єктиву

2.1.4.1 Оптичний об'єктив типу 2X Mitutoyo Compact Objective

Компактні об'єктиви Mitutoyo - ідеальна заміна комерційних та біологічних мікроскопів. Оптимізований компроміс між фізичним розміром, числовою апертурою та робочою відстанню призводить до обмеженої дифракції продуктивності при частковому розмірі та вартості аналогів, скоригованих на нескінченність.

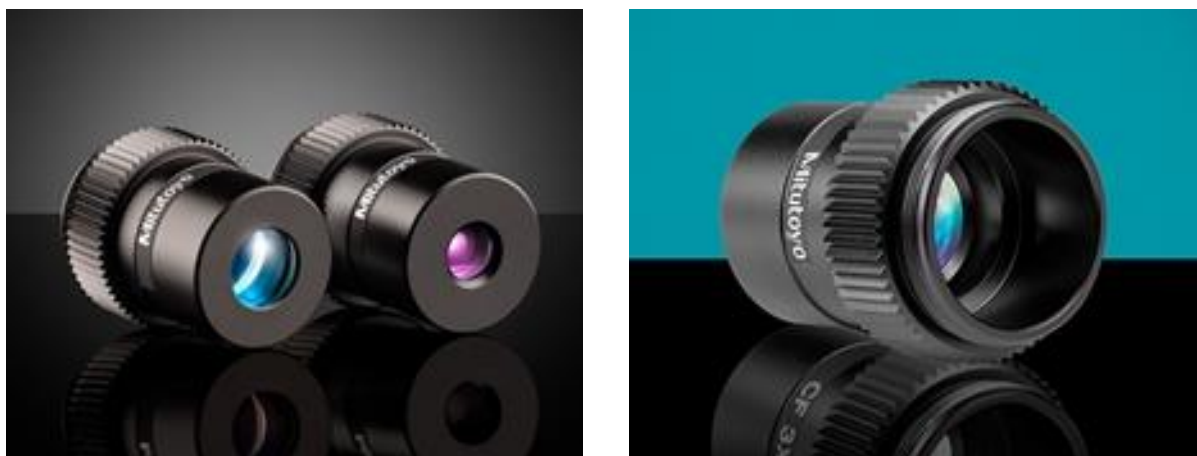


Рисунок 2.12 – Зображення об'єктиву типу 2X Mitutoyo Compact Objective

Таблиця 2.10- Технічні характеристики 2X Mitutoyo Compact Objective

Ефективна фокусна відстань EFL (мм):	60,19
Горизонтальне поле зору, 2/3 "датчик:	4,40 мм
Збільшення:	2X
Числова діафрагма NA:	0,06
Роздільна здатність (мкм):	4,6
Поле зору, польовий окуляр діаметром 24 (мм):	12,0
Робоча вологість:	65 ±2 0%
Горизонтальне поле зору, 1/2 "датчик:	3,20 мм
Довжина (мм):	18,00
Максимальний діаметр (мм):	30.0
Робоча температура (° C):	+5 ... +35
Глибина різкості (мкм):	76,00
Поле зору, окуляр поля діаметром 18 (мм):	9,0

Ці об'єктиви легко інтегрувати в системи візуалізації C-Mount за допомогою нашої трубки камери Mitutoyo C-Mount.

2.1.4.2. Оптичний об'єктив типу 5X Compact Adjustable Objective

Компактні об'єктивні призначені для зменшення загальної ваги та розмірів системи візуалізації при збереженні оптичних характеристик. Хоча традиційні системи об'єктивів, як правило, вимагають великої довжини трубки та лінз,

компактні об'єкти TECHSPEC оптимізують кожну ціль, щоб забезпечити меншу довжину трубки.

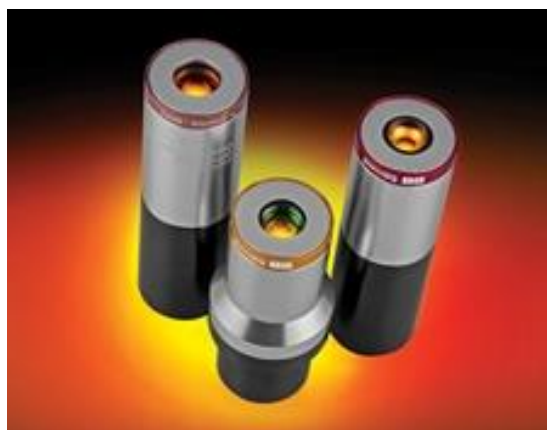


Рисунок 4.4 – Зображення об'єктиву 5X Compact Adjustable Objective

Таблиця 2.11 - Технічні характеристики 5X Compact Adjustable Objective

Горизонтальне поле зору, 1/2 "датчик:	1,28 мм
Довжина (мм):	93,81
Максимальний діаметр (мм):	30,00
Тип:	Об'єktiv для мікроскопу
Діафрагма (мм):	Front: 11,4
Горизонтальне поле зору, 2/3 "датчик:	1,80 мм
Збільшення:	5X
Максимальний формат датчика:	2/3"
Числова діафрагма NA:	0,15
Робоча відстань (мм):	16,2
Довжина трубки (мм):	50,0

Стандартизований зовнішній діаметр 30 мм та різьблення з кріпленням C спрощують інтеграцію в системні збірки. Збільшення можна легко збільшити,

додавши розпірки для збільшення довжини трубки. Кожна лінза має широкосмугове антивідбивне покриття, щоб забезпечити рівномірну та максимальну пропускну здатність світла у видимому спектрі. Компактні об'єкти TECHSPEC ідеально підходять для різноманітних біомедичних або машинних засобів зору, включаючи мікроскопію, проточну цитометрію, фармацевтичну інспекцію та конвеєрну лінію або інспекцію несправностей.

2.2 Висновки до розділу 2

У другому розділі ми виконали проектування експериментального макету оптико-електронної вимірювальної системи для виявлення дефектів клеєних з'єднань скляних поверхонь. Розпочали проектувати оптико-електронну вимірювальну систему з розробки структурної схеми та підбору його структурних елементів та вузлів з переліку запропонованих видів електроніки та оптики. Особливої уваги ми приділили вибору телевізійної камери з ПЗЗ-матрицею, оскільки, саме для цього вузла ми плануємо проводити ряд експериментальних досліджень присвячених пошуку шумів на матриці та причин їх наявності й звісно розробці методу їх усунення.

У даній магістерській роботі ми розробили узагальнену структурну схему оптико-електронної вимірювальної системи для контролю та виявлення дефектів клейових з'єднань. За цією схемою ми розпочали виконувати аналітичний огляд складових. Розпочали з основного вузла, а саме з вибору мікроскопу. Наш вибір зосереджений на двох видах мікроскопів,; оптичному, металографічному. Такий вибір був обмежений саме цими мікроскопами через ряд причин. По-перше, зручність використання, простота конструкції. По-друге, зручність монтажу телевізійної камери до цих типів мікроскопів.

Наступним кроком з вибору другого вузла, як на нашу думку навіть більш важливого чим мікроскоп, це ми дивимось відносно теми нашої дисертації, є вибір телевізійної камери. Оскільки нам необхідно підвищити точність вимірювання дефектів клейових з'єднань оптичних деталей шляхом дослідження

ПЗЗ-матриці оптико-електронної системи. Ми провели огляд камер, що наведено у розділі 2, пункту 2.1.2. Обрали модель камери для проведення експериментальних досліджень. З урахуванням її демонтажу та простоти розборки корпусу, щоб дібратись до ПЗЗ матриці. Хоча частина досліджень ПЗЗ матриці у нас буде відбуватись у звичайному робочому режимі.

Незалежно від того, що основні елементи вимірювальної системи обрано, ми повинні обрати решту вузлів для того, щоб зібрати експериментальний макет оптико-електронної вимірювальної системи дефектів клейових з'єднань та дослідити точність вимірювання до та після усунення шумових завад на ПЗЗ матриці. Тому ми продовжили наш порівняльний аналіз різних типів вузлів та вибір оптичного мікро об'єктиву. Об'єктиви та окуляри до мікроскопів у моделей, що виготовлені ще при Радянському Союзі, входили до комплекту одразу, ще й і не в одиничному екземплярі, а то і цілими комплектами. Тому наш вибір, щодо радянського виготовлення мікроскопу має ще одну суттєву перевагу. І це знижує вартість готової вимірювальної системи. Програмне забезпечення для обробки зображень, що несуть інформацію про випромінювання об'єкту дослідження, обрано наступне Gwyddion.

РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЗЗ-МАТРИЦІ ТЕЛЕВІЗІЙНОЇ КАМЕРИ

У третьому розділі магістерської дисертації ми провели ряд експериментальних досліджень ПЗЗ матриці телевізійної камери. Для початку ми розробили власну методику дослідження шумів на ПЗЗ матриці. Визначили їх попіксельно, а саме у кожному елементі розкладу зображення (пікселі) дослідили рівень шумів. Наступним кроком з виконання завдань нашої роботи стало визначення джерела, що викликає ці шуми. Ми вирішили, що нам варто провести тепловізійне дослідження матриці, у результаті чого ми встановили, що відбувається нагрів окремих елементів матриці, особливо загальної шини (загальна шина є конструктивною особливістю моделі телевізійної камери, що ми обрали для дослідження). Останнім кроком при проведенні експериментальних досліджень, пов'язаних з ПЗЗ матрицею, став пошук системи усунення цього джерела шумів на матриці. Ми його знайшли, тепер пропонуємо розглянути всі ці кроки більш детально.

3.1 Виявлення шумів ПЗЗ матриці телевізійної камери

Методика наступна: телевізійну камеру оптико-електронної вимірювальної системи розташовуємо в темному приміщенні, під цупкою тканиною, з щільно закритим отвором для під'єднання об'єктиву до камери гумовою накладкою. Вмикаємо її та знімаємо показники випромінювання порядково з матриці камери. У нас було 240 рядків пікселів по горизонталі. Отже проведено 240 вимірювань показників випромінювання в кожному пікселі цього рядка.

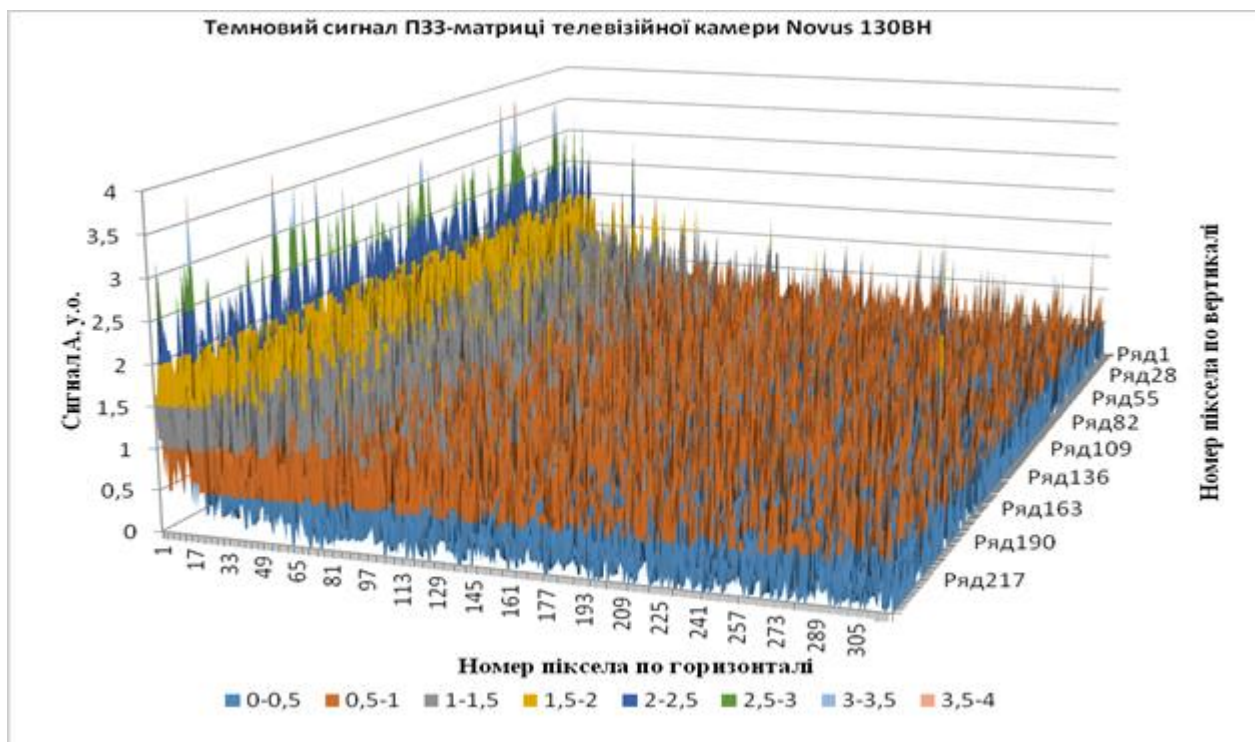


Рисунок 3.1 – Результат виявлення шумів ПЗЗ матриці телевізійної камери

Нажаль, у нас не було програмного забезпечення, що дозволило одразу обрати всю площу ПЗЗ матриці для проведення дослідження. Після обробки даної інформації, ми побудували об'ємне зображення шумів на матриці. Така форма представлення результатів для нашого випадку є обґрунтованою та інформативно у порівняння з табличними даними.

Як видно з зображення, з лівої сторони матриці шуми мають показники шумів від 0,5 до 3,7 у.о. АЦП. З правої сторони матриці показники шумів дорівнюють 0 до 1 у.о. АЦП. Розподіл по матриці телевізійної камери нерівномірний, хоча ми споглядаємо певну закономірність максимальних показників шуму з лівої сторони матриці (орієнтація матриці обрана навмання).

3.2 Визначення причин шумів ПЗЗ матриці телевізійної камери

Наступним кроком з виконання завдань нашої роботи стало визначення джерела, що викликає ці шуми. Ми вирішили, що нам варто провести тепловізійне дослідження матриці, у результаті чого ми встановили, що відбувається нагрів окремих елементів матриці, особливо загальної шини

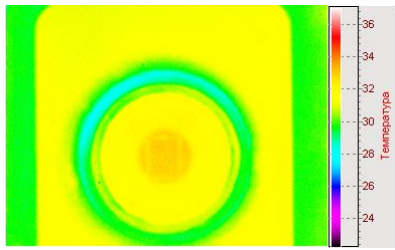
(загальна шина є конструктивною особливістю моделі телевізійної камери, що ми обрали для дослідження). Методика та результати експериментального дослідження з визначення причин виникнення шумів наведено у пункті 3.2.



Рисунок 3.2 – Зображення камери теплового бачення, на якій проводили експериментальне дослідження

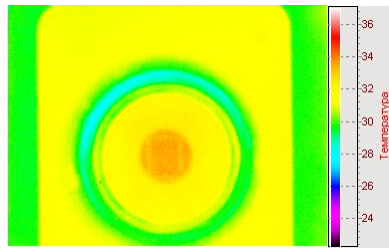
Зазначимо основні технічні характеристики камери теплового бачення. Розміри одного пікселя дорівнюють 50×33 мкм, частота кадрів 25 Гц, поле зору камери дорівнює 40 градусів, діапазон спектральної чутливості, в якому працює камера, дорівнює 2 – 5,3 мікрметри. Хочемо зазначити, що для системи охолодження даної камери застосовується рідкий азот. Важливим показником камери теплового бачення є температурна чутливість, тобто мінімальна температура, яку розрізняє камера, для даної камери вона дорівнює $0,07^{\circ}\text{C}$ на площі $0,25 \text{ мм}^2$.

Методика експериментального дослідження для даного етапу наступна: ми обрали тепловізійну камеру з великим показником роздільної здатності, зняли захисний металевий корпус з камери, направили теплову камеру на ПЗЗ матрицю. Заміряли теплову картину перед початком дослідження, потім увімкнули камеру та почали фіксувати тепловізійну картину та час від початку нагрівання (роботи).



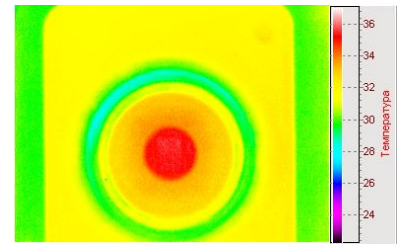
$T = 33,48^{\circ}\text{C}$, $t = 1$ хв.

а)



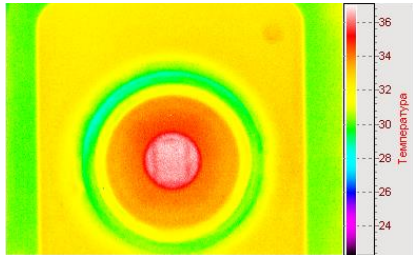
$T = 33,97^{\circ}\text{C}$, $t = 1,5$ хв.

б)



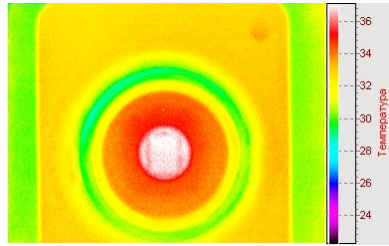
$T = 34,69^{\circ}\text{C}$, $t = 2,5$ хв.

в)



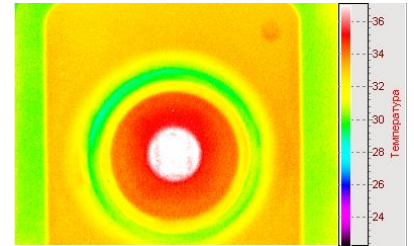
$T = 35,74^{\circ}\text{C}$, $t = 3,5$ хв.

г)



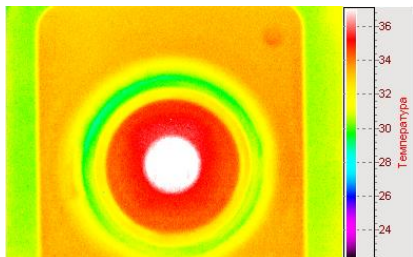
$T = 36,14^{\circ}\text{C}$, $t = 4,5$ хв.

д)



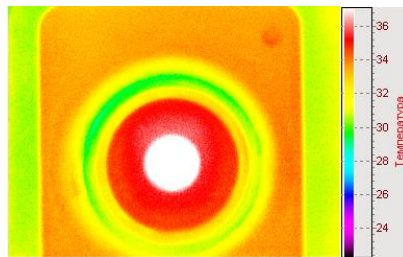
$T = 36,55^{\circ}\text{C}$, $t = 5,5$ хв.

е)



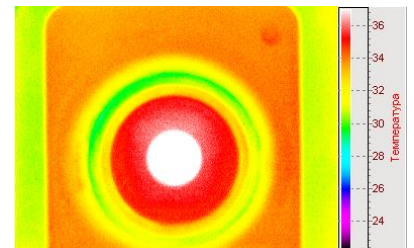
$T = 37,14^{\circ}\text{C}$, $t = 6,5$ хв.

ж)



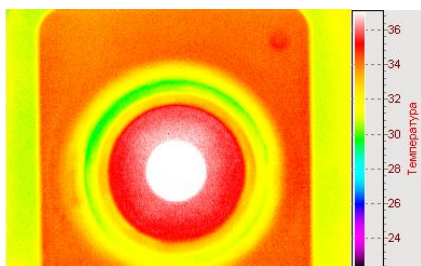
$T = 37,34^{\circ}\text{C}$, $t = 7,5$ хв.

з)



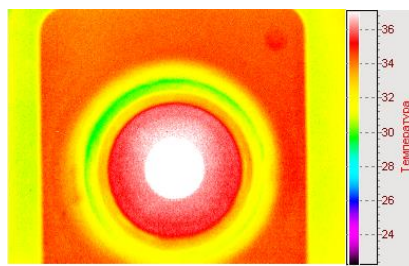
$T = 37,90^{\circ}\text{C}$, $t = 8,5$ хв.

і)



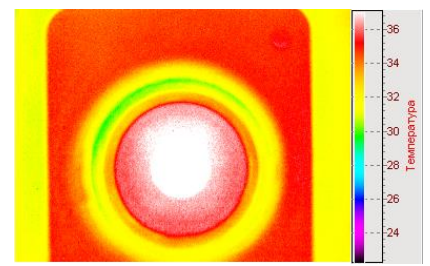
$T = 38,28^{\circ}\text{C}$, $t = 9,5$ хв.

к)



$T = 39,24^{\circ}\text{C}$, $t = 13,5$ хв.

л)



$T = 39,41^{\circ}\text{C}$, $t = 15,5$ хв.

м)

Рисунок 3.2 – Зображення динаміки нагріву матриці камери

Таким чином встановили місця найбільшого нагріву матриці. Такий нагрів може викликати шуми на матриці, тому ми провели спробу для охолодження матриці.

3.3 Усунення шумів ПЗЗ матриці телевізійної камери

Останнім кроком при проведенні експериментальних досліджень, пов'язаних з ПЗЗ матрицею, став пошук системи усунення цього джерела шумів на матриці. Методика та результати експериментального дослідження з усунення шумів наведено у пункті 3.3. Методика наступна: ми під'єднали вентилятор з комп'ютеру та провели повторні дослідження нагріву матриці.

Для усунення впливу теплового чиннику запропоновано методику охолодження ТВС, використання якої дозволило зменшити похибку вимірювання на 40% від загальної похибки та збільшити корисний сигнал на 30%.

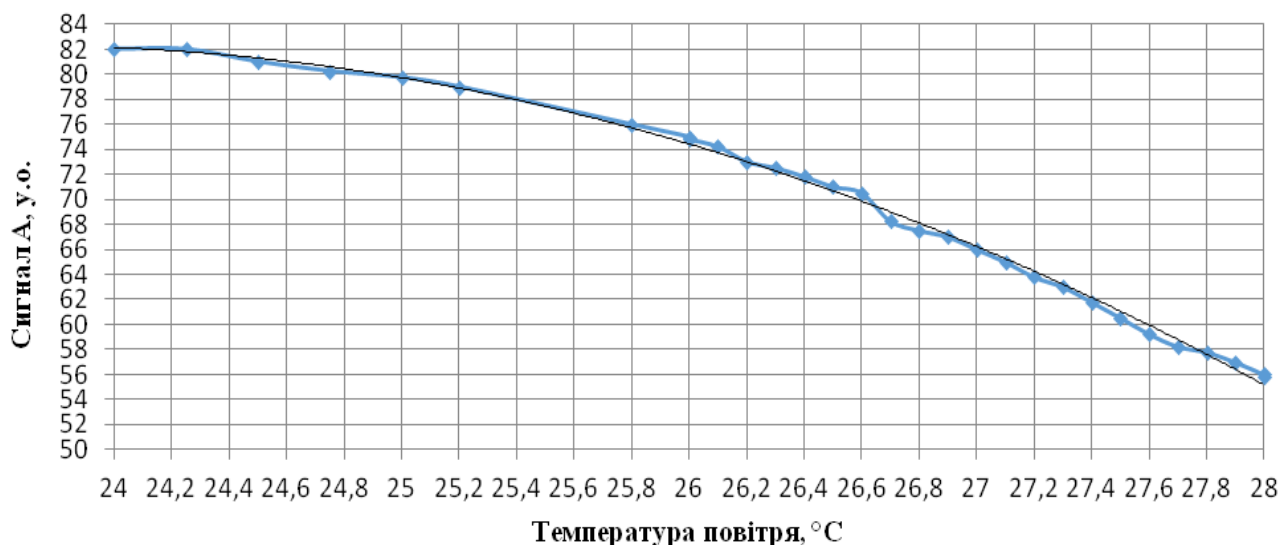


Рисунок 3.3.- Графічна залежність сигналу камери від показника температури навколишнього середовища біля камери

Ми визначили, що таке просте рішення усунуло нагрів матриці та відповідно знизило рівень шумів на ПЗЗ матриці.

3.4 Висновки до розділу 3

У третьому розділі магістерської дисертації ми провели ряд експериментальних досліджень ПЗЗ матриці телевізійної камери. Для початку ми розробили власну методику дослідження шумів на ПЗЗ матриці. Визначили їх попіксельно, а саме у кожному елементі розкладу зображення (пікселі) дослідили рівень шумів. Методика та результати експериментального дослідження з виявлення шумів наведено у пункті 3.1. Методика наступна: телевізійну камеру оптико-електронної вимірювальної системи розташовуємо в темному приміщенні, під цупкою тканиною, з щільно закритим отвором для під'єднання об'єктиву до камери гумовою накладкою. Вмикаємо її та знімаємо показники випромінювання рядково з матриці камери. У нас було 240 рядків пікселів по горизонталі. Отже проведено 240 вимірювань показників випромінювання в кожному пікселі цього рядка. Нажаль, у нас не було програмного забезпечення, що дозволило одразу обрати всю площу ПЗЗ матриці для проведення дослідження. Після обробки даної інформації, ми побудували об'ємне зображення шумів на матриці. Така форма представлення результатів для нашого випадку є обґрунтованою та інформативно у порівняння з табличними даними.

Наступним кроком з виконання завдань нашої роботи стало визначення джерела, що викликає ці шуми. Ми вирішили, що нам варто провести тепловізійне дослідження матриці, у результаті чого ми встановили, що відбувається нагрів окремих елементів матриці, особливо загальної шини (загальна шина є конструктивною особливістю моделі телевізійної камери, що ми обрали для дослідження). Методика та результати експериментального дослідження з визначення причин виникнення шумів наведено у пункті 3.2. Методика експериментального дослідження для даного етапу наступна: ми обрали тепловізійну камеру з великим показником роздільної здатності, зняли захисний металевий корпус з камери, направили теплову камеру на ПЗЗ матрицю. Заміряли теплову картину перед початком дослідження, потім увімкнули камеру

та почали фіксувати тепловізійну картину та час від початку нагрівання (роботи). Таким чином встановили місця найбільшого нагріву матриці. Такий нагрів може викликати шуми на матриці, тому ми провели спробу для охолодження матриці.

Останнім кроком при проведенні експериментальних досліджень, пов'язаних з ПЗЗ матрицею, став пошук системи усунення цього джерела шумів на матриці. Методика та результати експериментального дослідження з усунення шумів наведено у пункті 3.3. Методика наступна: ми під'єднали вентилятор з комп'ютеру та провели повторні дослідження нагріву матриці. Ми визначили, що таке просте рішення усунуло нагрів матриці та відповідно знизило рівень шумів на ПЗЗ матриці. Отже, для усунення впливу теплового чиннику запропоновано методику охолодження ТВС, використання якої дозволило зменшити похибку вимірювання на 40% від загальної похибки та збільшити корисний сигнал на 30%.

РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ДЕФЕКТІВ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ

Виконаємо оцінку зміни точності вимірювання дефектів клейових з'єднань оптичних деталей шляхом дослідження ПЗЗ-матриці оптико-електронної системи. У попередньому розділі ми визначили джерело виникнення шумів та змогли їх усунути, тому ми очікуємо збільшення точності вимірювання дефектів. Проаналізуємо показники точності до та після усунення шумів на матриці телевізійної камери.

4.1 Дослідження показників точності до усунення шумів на матриці телевізійної камери

Як ми зазначали раніше, ще в першому та другому розділах дисертації, ми плануємо провести вимірювання геометричних розмірів дефектів клейових з'єднань. Для цього ми підготували клейове з'єднання з прозорого матеріалу (скла). Товщина скла становила 2 мм, ми вирізали елементи з цього скла та склеїли. У якості клею використали дві композиції клеїв. Таким чином ми підготували об'єкти для вимірювання дефектів. У тому, що будуть дефекти ми впевнені, адже ми хоча і підготували поверхню скла перед склеюванням (обезжирили), ми не можемо гарантувати, що при з'єднанні скла № 1 та скла № 2 ми не захопили повітряні кульки. Досконалість технології склеювання для нас не є важливою, адже дефекти нам потрібні.

Ми зібрали оптико-електронну систему з складових, що зазначили у розділі 2 пунктів 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4 за структурною схемою, що навели у пункті 2.1 другого розділу. У якості програмного забезпечення для контролю дефектів у клеєних з'єднань використовуємо спеціалізоване програмне забезпечення Gwyddion. Ми вже мали змогу використовувати цей програмний продукт, він зарекомендував себе як простий у застосуванні, та такий, що надає багатий функціонал для обробки результатів випромінювання по зображенню, що отримано оптико-електронною вимірювальною системою.

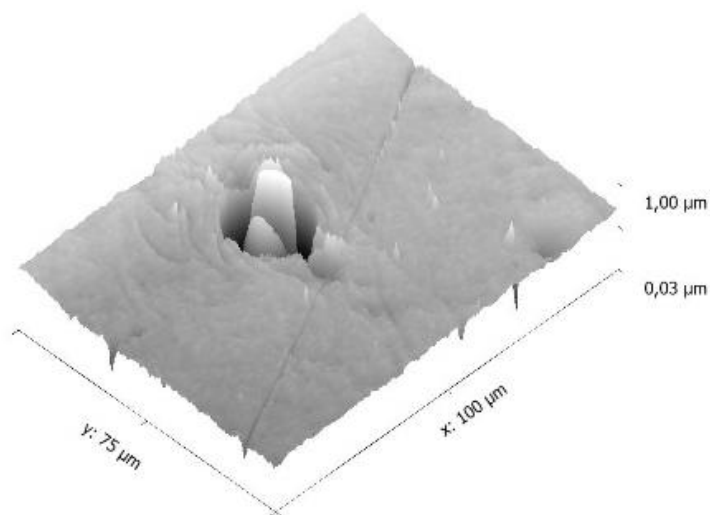
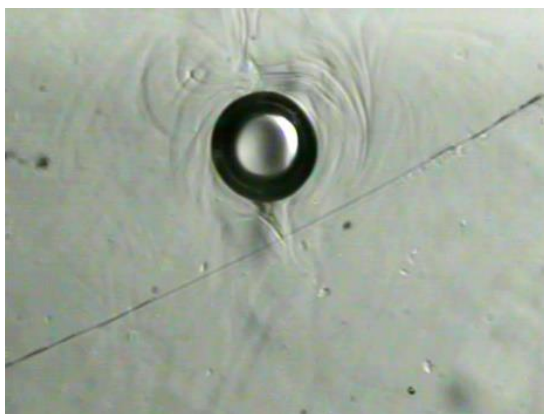


Рисунок 4.1 - Зображення клейового з'єднання двох скляних поверхонь з застосування клею хімічного складу № 2 (перший зразок): а) в системі координат (x, y) ; б) в системі координат (x, y, z) .

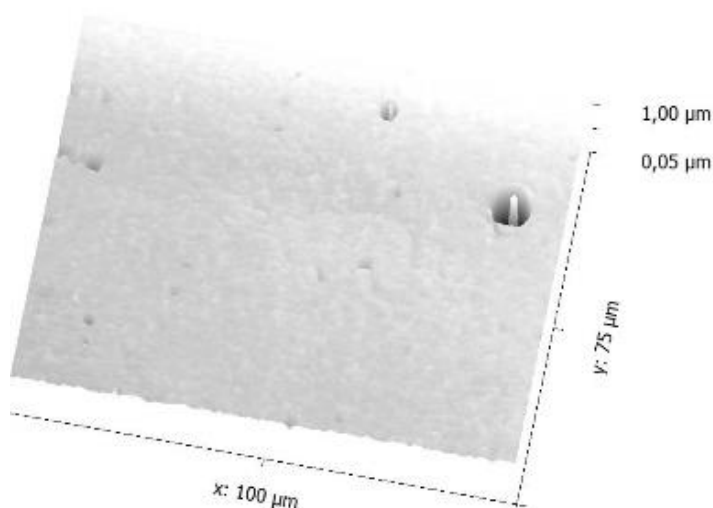


Рисунок 4.2 - Зображення клейового з'єднання двох скляних поверхонь з застосування клею хімічного складу № 2 (другий зразок): а) в системі координат (x, y) ; б) в системі координат (x, y, z) .

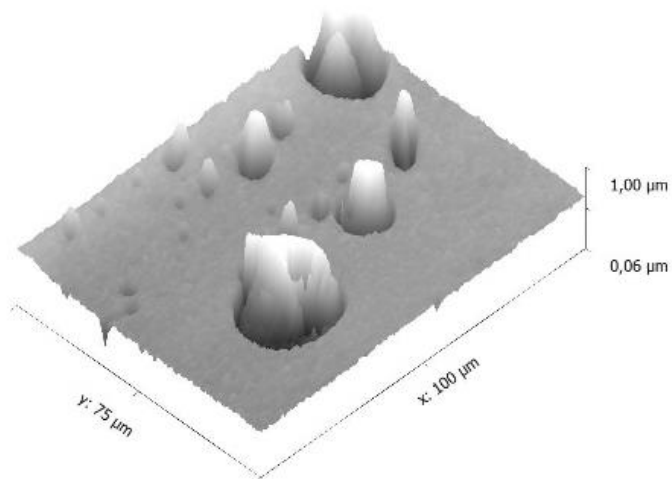
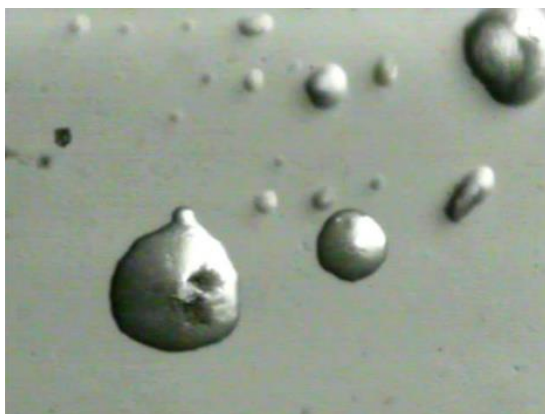


Рисунок 4.3 - Зображення клейового з'єднання двох скляних поверхонь з застосування клею хімічного складу № 1 (перший зразок): а) в системі координат (x, y); б) в системі координат (x, y, z).

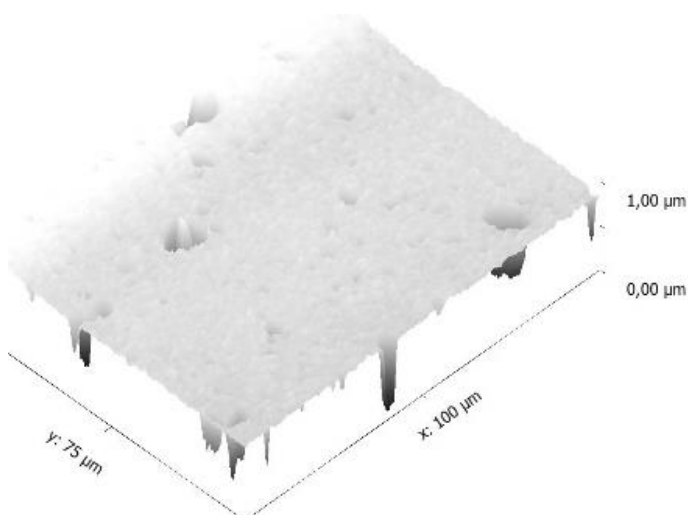
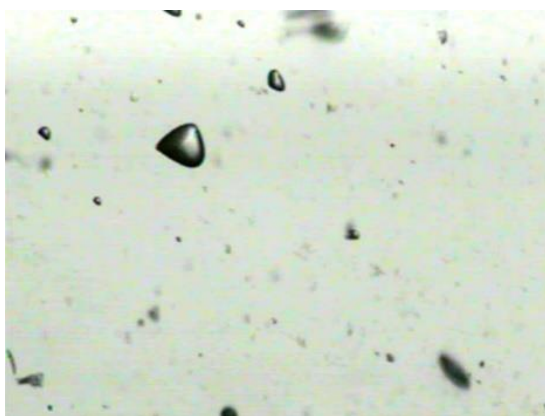


Рисунок 4.4 - Зображення клейового з'єднання двох скляних поверхонь з застосування клею хімічного складу № 1 (другий зразок): а) в системі координат (x, y); б) в системі координат (x, y, z).

Дослідницьку роботу поведено для 4 зразків клейових з'єднань, що були підготовленні з застосуванням клеїв різних за хімічним складом та скляним поверхнями з коефіцієнтом пропускання світла, що дорівнює 1 та товщиною 2 мм.

На рисунках зображено результати дослідження геометричних розмірів дефектів епоксидного клею (клей № 1), що твердіє без нагрівання та силіконового клею (клей № 2). Процес затвердіння у епоксидного клею проходить з невеликими усадками навіть без застосування температурної обробки. Клейові з'єднання мають гарні діелектричні і фізико-механічні характеристики, а також високу адгезію як до металів, так і до більшої частини неметалічних матеріалів. При підготовці дослідного зразку навмисно було допущено поява дефектів задля кращої візуалізації дефектів. Хочемо зазначити, що дефекти з іншими зразками виконано так само.

Результати експериментальних досліджень проведених з різними зразками клеїв для однакових за товщиною скляних поверхонь дозволяє стверджувати, що об'ємне дослідження клейового шву є більш інформативним, а ніж система оцінювання за координатами (x, y). Для наведеного на рисунках цього розділу зображення, об'ємне зображення дозволило виявити на 9 % більше дефектів, що підраховувалось з застосування спеціально прописаного програмного модулю за інтенсивністю по-піксельного відображення клейового зображення. А похибка вимірювання геометричних розмірів клейових дефектів становила $10 \pm 1,2$ мкм.

Хочемо зазначити, що для достовірності вимірювань нашою оптико-електронною системою, ми використовували еталон геометричного розміру, а саме штрихову міру ГОСТ 11415-78, міру № 3, поле № 10.

4.2 Дослідження показників точності після усунення шумів на матриці телевізійної камери

Проведемо ряд таких само експериментальних досліджень, але вже з застосуванням систем охолодження ПЗЗ матриці, що дозволяє усунути шуми. Наводимо результати вимірювання.

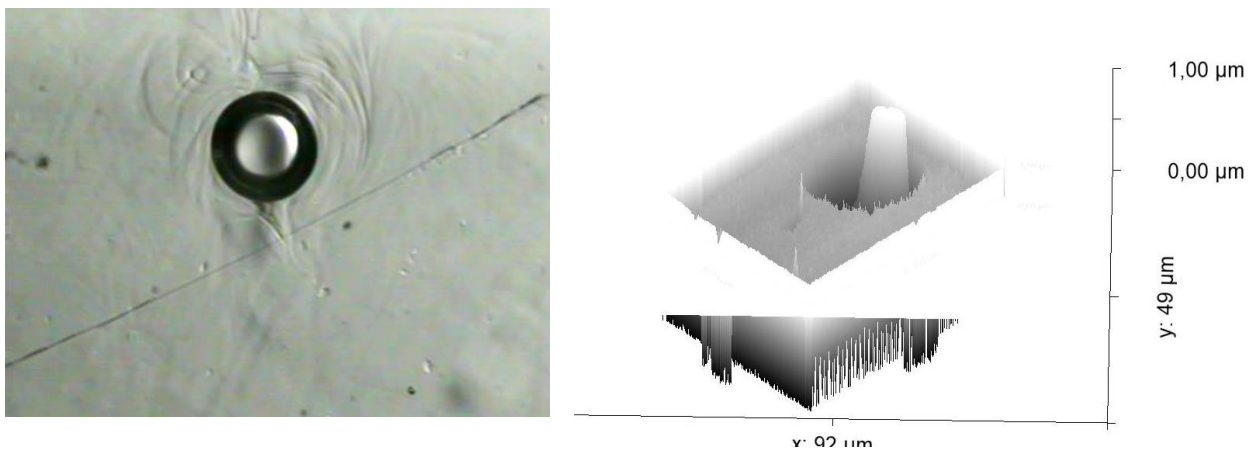


Рисунок 4.5 - Зображення клейового з'єднання двох скляних поверхонь з застосування клею хімічного складу № 2 (перший зразок): а) в системі координат (x, y); б) в системі координат (x, y, z).

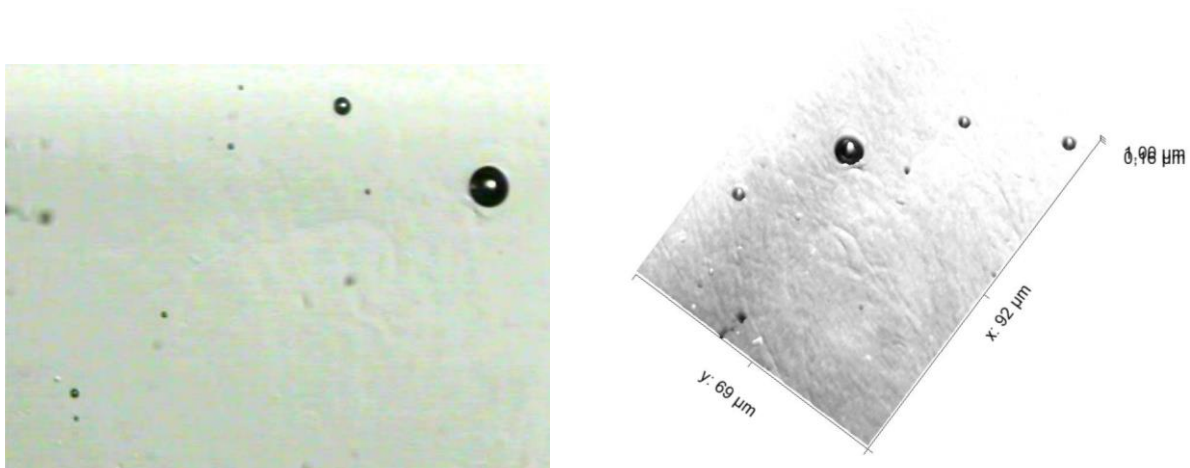


Рисунок 4.6 - Зображення клейового з'єднання двох скляних поверхонь з застосування клею хімічного складу № 2 (другий зразок): а) в системі координат (x, y); б) в системі координат (x, y, z).

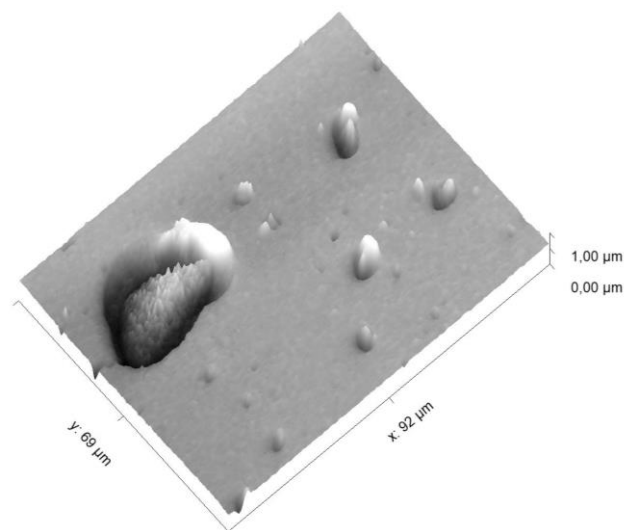
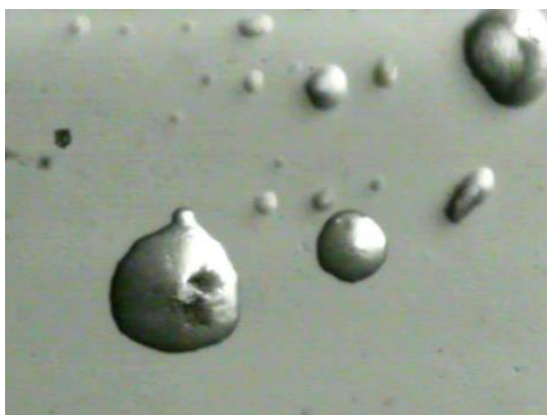


Рисунок 4.7 - Зображення клейового з'єднання двох скляних поверхонь з застосування клею хімічного складу № 1 (перший зразок): а) в системі координат (x, y); б) в системі координат (x, y, z).

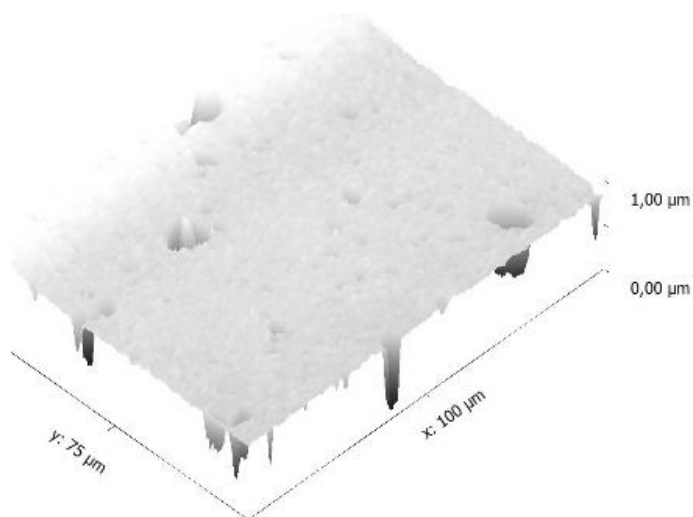


Рисунок 4.8 - Зображення клейового з'єднання двох скляних поверхонь з застосування клею хімічного складу № 1 (другий зразок): а) в системі координат (x, y); б) в системі координат (x, y, z).

Хочемо зазначити, що для достовірності вимірювань оптико-електронною системою, ми так само використовували еталон геометричного розміру, а саме штрихову міру ГОСТ 11415-78, міру № 3, поле № 10.

Результати експериментальних досліджень проведених з різними зразками клеїв для однакових за товщиною скляних поверхонь дозволяє стверджувати, що об'ємне дослідження клейового шву є більш інформативним, а ніж система оцінювання за координатами (х, у). Для наведеного на рисунках цього розділу зображення, об'ємне зображення дозволило виявити на 12 % більше дефектів, що підраховувалось з застосування спеціально прописаного програмного модулю за інтенсивністю по-піксельного відображення клейового зображення. А похибка вимірювання геометричних розмірів клейових дефектів становила $10 \pm 0,3$ мкм.

4.3 Порівняння результатів точності з визначення геометричних розмірів дефектів клейових з'єднань

Практична реалізація побудови оптико-електронної вимірювальної системи на CCD (ПЗЗ) матриці з зазначеними вище особливостями, дозволила експериментально підтвердити ефект реалізації даного методу для підвищення точності вимірювання дефектів клейових з'єднань. Відносна похибка вимірювання геометричних розмірів дефектів клейових з'єднань скляних поверхонь товщиною 2 мм й коефіцієнтом пропускання світла, що дорівнювала 1, зменшилась на 25 %.

Хочемо відзначити, що після дотриманням тонкощів в налаштуванні системи усування шумів на матриці, було підвищено чутливість й роздільну здатність фіксації дефектів, а похибка вимірювання становила $10 \pm 1,2$ мкм після $10 \pm 0,3$ мкм.

4.4 Висновки до розділу 4

У четвертому розділі ми провели оцінку точності вимірювання геометричних розмірів дефектів клейових з'єднань спроектованою оптико-електронною вимірювальною системою.

Хочемо зазначити, що ми виконали оцінку точності до експериментального дослідження ПЗЗ матриці на наявність шумів, визначення також експериментальним шляхом причин виникнення шумів та до проведення дій щодо усунення шумів на матриці. Для цього ми зібрали оптико-електронну систему з складових, що зазначили у розділі 2 пунктів 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4 за структурною схемою, що навели у пункті 2.1 другого розділу. У якості програмного забезпечення для контролю дефектів у клеєних з'єднань використовували спеціалізоване програмне забезпечення Gwyddion. Ми вже мали змогу використовувати цей програмний продукт, він зарекомендував себе як простий у застосуванні, та такий, що надає багатий функціонал для обробки результатів випромінювання по зображенню, що отримано оптико-електронною вимірювальною системою.

Дослідницьку роботу поведено для 4 зразків клейових з'єднань (по два зразки кожного клею), що були підготовленні з застосуванням клеїв різних за хімічним складом та скляним поверхнями з коефіцієнтом пропускання світла, що дорівнює 1 та товщиною 2 мм. Клей використовували епоксидний та силіконовий.

На рисунках четвертого розділу зображено результати дослідження геометричних розмірів дефектів епоксидного клею (клей № 1) та силіконового клею (клей № 2).

Результати експериментальних досліджень проведених з різними зразками клеїв для однакових за товщиною скляних поверхонь дозволяє стверджувати, що об'ємне дослідження клейового шву є більш інформативним, а ніж система оцінювання за координатами (x, y). Для наведеного на рисунках цього розділу зображення, об'ємне зображення дозволило виявити на 9 % більше дефектів, що підраховувалось з застосування спеціально прописаного програмного модулю за інтенсивністю по-піксельного відображення клейового зображення. А похибка вимірювання геометричних розмірів клейових дефектів становила $10 \pm 1,2$ мкм.

Наступним кроком, було усунути шуми на матриці. Їх усунення ми досягли шляхом охолодження повітря навколо камери, але хочемо зазначити, що камера знаходилась без металевого кожуху. Після чого ми провели повторно експериментальні дослідження з визначення геометричних розмірів дефектів клейових з'єднань тих само чотирьох зразків.

Отримали наступні результати. Відносна похибка вимірювання геометричних розмірів дефектів клейових з'єднань скляних поверхонь товщиною 2 мм й коефіцієнтом пропускання світла, що дорівнювала 1, зменшилась на 25 %.

Хочемо відзначити, що після дотриманням тонкощів в налаштуванні системи усування шумів на матриці, було підвищено чутливість й роздільну здатність фіксації дефектів, а похибка вимірювання становила $10 \pm 1,2$ мкм після $10 \pm 0,3$ мкм.

РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Розробка стартап проекту «Підвищення точності вимірювання дефектів клейових з'єднань оптичних деталей шляхом дослідження ПЗЗ-матриці оптико-електронної системи»

Стартап як форма малого ризикового (венчурного) підприємництва впродовж останнього десятиліття набула широкого розповсюдження у світі через зниження бар'єрів входу в ринок (із появою Інтернету як інструменту комунікацій та збуту стало простіше знаходити споживачів та інвесторів, займатись пошуком ресурсів, перетинати кордони між ринками різних країн), і вважається однією із наріжних складових інноваційної економіки, оскільки за рахунок мобільності, гнучкості та великої кількості стартап-проектів загальна маса інноваційних ідей зростає [29].

5.1.Опис ідеї стартап-проекту

Ідеєю для стартап-проекту є описаний в магістерській дисертації Оптико-електронна система виявлення дефектів клейових з'єднань оптичних деталей. Актуальність полягає в тому, що ОЕВС є надзвичайно перспективним засобом дослідження у реальному часі процесів пошкодження та руйнування оптичних деталей у місцях їх з'єднання у складі вузлів та блоків під час випробувань на міцність від різного роду фізичних впливів. При цьому параметрами контролю можуть бути геометричні розміри та переміщення локальних областей деталей, які мають малі (субміліметрові та мікронні) розміри. Існують наукові роботи де описано результати дослідження оптичних об'єктів, однак про застосування ОЕВС для контролю та вимірювання геометричних розмірів дефектів клейових з'єднань раніше не застосовувались та не описувались

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Конструювання ОЕС виявлення дефектів	Виявлення дефектів клейових з'єднань після виробництва.	Стабільна робота, досить швидке виявлення дефектів, обробка результатів займає мало часу.

клеювих з'єднань оптичних деталей	Зменшення кількості дефектів в подальшому виробництві.	Пристрій є досить малогабаритним, а тому легко може пересуватися безпосередньо на місце експлуатації та в місцях виробництва оптичних деталей.
-----------------------------------	--	--

Серед конкурентів для даної ОЕС, в Україні існує лише один схожий стенд але в ньому використовується камера з іншою матрицею (CCD): в НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Розробка НТУУ «КПІ ім Ігоря Сікорського»			
1.	Портативність	+	+		+	
1.	Низька вартість, грн	+	-			+
		3000	10000			
3.	Якість	+	-			+
4.	Простота в роботі	+	+		+	

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

5.2. Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу буде проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару).

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (Таблиця 5.3):

- за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту?

- чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/доробити?
- чи доступні такі технології авторам проекту?

Таблиця 5.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	ОЕС на базі камери з матрицею CMOS	До мікроскопу кріпиться камера на базі матриці CMOS яка з'єднана з комплексом захвату та обробки зображення	Наявні	Доступні
2	ОЕС на базі камери з матрицею CCD	До мікроскопу кріпиться камера на базі матриці CCD яка з'єднана з комплексом захвату та обробки зображення	Наявні	Доступні
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: ОЕС на базі камери з матрицею CMOS, так як вона є найбільш якісною і дешевою та не поступається своїми характеристиками іншим.				

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок щодо можливості технологічної реалізації проекту ОЕС на галогенній лампі, а також технологічний шлях, яким це доцільно зробити.

5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміку розвитку ринку (Таблиця 5.4).

Таблиця 5.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	5000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Забезпечення калібрування камери завдяки еталонним комплектом штрихових мір ГОСТ 11415-78
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	20

Рентабельність — поняття, що характеризує економічну ефективність виробництва, за якої за рахунок грошової виручки від реалізації продукції (робіт, послуг) повністю відшкодовує витрати на її виробництво й одержується прибуток як головне джерело розширеного відтворення.

Суть одного із найважливіших методів оцінки економічної ефективності інвестицій полягає у розрахунку їх середньої рентабельності за формулою :

$$R = \frac{P}{l + n} \cdot 100\%$$

де Р – прибуток за час експлуатації проекту; l – повна сума інвестиційних витрат; n – час експлуатації проекту.

Інвестувати грошові засоби доцільно тоді, коли від цього можна отримати більший прибуток, ніж від їх зберігання у банку. Порівнюючи середньорічну рентабельність інвестицій зі ставкою банківського відсотка, можна дійти висновку, що вигідніше.

З даної таблиці можна зробити висновок, що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

Далі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (Таблиця 5.5).

Таблиця 5.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Виявлення дефектів клейових з'єднань	Виробництво та фірми які випускають та обслуговують оптичні прилади Безпосередні користувачі оптичних приладів.	Виробникам необхідний прилад для виявлення безпосередньо під час виробництва, а споживачам уже безпосередньо в процесі експлуатації.	Низька ціна та портативність приладу для дослідження. А також швидкість вимірювання.

Після визначення потенційних груп клієнтів проведемо аналіз ринкового середовища: складемо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (Таблиця 5.6-5.7).

Таблиця 4.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція	Очікується вихід на ринок в ареал конкурента	Підвищилися бар'єри входу на ринок: необхідно одержувати ліцензію на виготовлення ОЕС.

2	Збут	З цього року наш найбільший оптовий покупець визначає постачальників за результатами тендеру	На ринку з'явилася нова роздрібна сітка, яка в даний момент вибирає постачальників
---	------	--	--

Таблиця 5.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Ексклюзив	Виведення на ринок нового виду ОЕС	Підвищення потужності виробництва та впровадження в комплекси для виявлення дефектів клейових з'єднань
2	Збут	Нарощення потужностей виробництва оптичних деталей в Україні, що супроводжується необхідністю в засобах виявлення та контролю клейових з'єднань.	Поява великої кількості потенційних покупців

Далі проведемо аналіз пропозиції: визначимо загальні риси конкуренції на ринку (Таблиця 5.8).

Таблиця 5.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції - монополія	1) різноманітність товарів та послуг; 2) важливе значення має не тільки ціна, а й	Мати деяке різноманіття товарів (ОЕС виявлення дефектів клейових з'єднань)

	нецінові чинники (умови продажу, можливість товари в кредит, гарантія, реклама і т. д.); 3) легкий вхід та вихід фірми з галузі	оптичних деталей), проводити рекламні кампанії
2. За рівнем конкурентної боротьби - світовий	Виробництво оптичних деталей є розповсюдженим у світі явищем, тому оптико-електронна системи для виявлення дефектів при з'єднанні оптичних деталей необхідна у світовому масштабі	Розробка якісного і досить дешевого продукту та міжнародна реклама
3. За галузевою ознакою - міжгалузева	Використання ОЕС можливе не тільки в виробництві оптичних деталей ай для фірм які обслуговують та розповсюджують оптичні вироби на ринку. Також можливе виявлення дефектів в металургії.	Розробка стендів для виявлення дефектів з'єднань
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Існують різні прилади зарубіжних розробок для виявлення дефектів та контролю, але коштують вони за 10000\$ і більше.	Підвищення якості та зменшення ціни ОЕС
5. За характером конкурентних переваг - нецінова	Головним фактором є якість виявлення дефектів, а не його ціна	Підвищення якості
6. За інтенсивністю - не марочна	Роль торгової марки незначна, хоча самі марки можуть бути присутніми на ринку	Реклама продукції

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера) (Таблиця 5.9).

Таблиця 5.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Оптико-електронна система на основі CCD-матриці	NOVUS	Китайські заводи по виготовленню ламп	Розробник оптичних деталей та їх споживачі	Використання замість оптико-електронних систем
Висновки :	Немає високої конкуренції, адже це державні установи, які не ведуть агресивної конкуренції	- є можливості входу в ринок - є потенційні зарубіжні конкуренти	Ні, постачальники лише впливають на ціну продукту	Так, клієнтам необхідний якісний та швидкий продукт	Немає, так як оптичні елементи не мають сталих характеристик, що призводить до похибок при вимірюванні

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок щодо принципової можливості роботи на ринку з огляду на конкурентну ситуацію. Також висновок щодо характеристик (сильних сторін), які повинен мати проект, щоб бути конкурентоспроможним на ринку.

На основі аналізу конкуренції, проведеного в (Таблиця 5.9), а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (Таблиця 5.2), вимог споживачів до товару (Таблиця 5.5) та факторів маркетингового середовища (Таблиця 5.6-5.7) визначено та обґрунтовано перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлено за Таблиця 5.10

Таблиця 5.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

1	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Швидкодія ОЕС	Можливість виявлення дефектів в оптичних деталях за короткий проміжок часу, що є актуальним для виробництва оптичних деталей на конвеєрі.
2	Низька ціна	Через використання не дорогих складових ОЕС вартість такого стенду є незначною порівняно з професійними виробниками контролю клейових з'єднань

За визначеними факторами конкурентоспроможності (Таблиця 5.10) проведемо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (Таблиця 5.11).

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (Таблиця 5.12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (Таблиця 5.11).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 5.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «ОЕС виявлення дефектів клейових з'єднань оптичних деталей»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з ОЕС						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Швидкодія ОЕС	15					+		
2	Низька ціна	18			+				

Таблиця 5.12 – SWOT – аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: якість і низька вартість	Слабкі сторони: портативність і дешеві складові ОЕС
Можливості: швидкий вихід на ринок дешевого і якісного стенду ОЕС	Загрози: особливості роботи з світлодіодними кільцями

На основі SWOT-аналізу можна визначити альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок (див. Таблиця 5.9, аналіз потенційних конкурентів).

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (Таблиця 5.13).

Таблиця 5.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Підвищення портативності ОЕС	Необхідна розробка легкої і переносної споруди. Так можна зробити	3 тижня
2	Підвищення якості освітлення	Використання ламп Галогенних з різними характеристиками. Так, необхідно закупити та протестувати такі лампи	1 тиждень

Обрано другу альтернативу – підвищення якості освітлення, адже доробка приладу буде тривати лише 1 тиждень, що прискорить вихід стенду ОЕС на ринок.

5.4.Розробка ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (Таблиця 5.14).

Таблиця 5.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Фірми які займаються виробництвом оптичних деталей	Так, якщо це буде досить швидкий та якісний стенд	Високий	Середня	Середня
2	Люди, які безпосередньо використовують оптичні прилади у власних потребах	Так, якщо це буде досить дешевий стенд	Середній	Середня	Середня
Які цільові групи обрано: обрано дві цільові групи, адже даний стенд ОЕС буде доступний і досить якісний.					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) обираємо цільові групи, де пропонується наш товар, та визначаємо стратегію охоплення ринку:

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувані базову стратегію розвитку (Таблиця 5.15).

Таблиця 5.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
	Підвищення якості освітлення та обробки зображення ОЕС	Весь ринок за рахунок низької вартості та якості ОЕС	Якість та ціна	Стратегія лідерства

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (Таблиця 5.16).

Таблиця 5.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
	Ні	Буде шукати нових та можливо забирати у конкурентів	Ні, адже в нас є свій дизайн продукту	За рахунок великих можливостей по об'ємах збуту товарів і продуктивності підприємство зможе добитися менших витрат

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту (див. Таблиця 5.5), а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (Таблиця 5.14) та стратегії конкурентної поведінки (Таблиця 5.16) розробляється стратегія позиціонування (Таблиця 5.17),

що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 5.17 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/ п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту
	Якість та низька ціна	Стратегія лідерства	Якість та ціна

Результатом виконання підрозділу є узгоджена система рішень щодо ринкової поведінки стартап-компанії, яка визначає напрями роботи стартап-компанії на ринку.

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у Таблиця 5.18 підсумуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Якість	Чітке виявлення дефекту, якісне освітлення дефекту клейового з'єднання	Використання нової схеми з Галогенними лампами та застосування камери на базі матриці КМОП (CMOS)
2	Низька ціна	Дешева ОЕС	Використання звичайних Галогенних ламп, які є досить дешевими

Далі розробимо трьохрівневу маркетингову модель товару: уточняється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (Таблиця 5.19).

Таблиця 5.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Компактний стенд ОЕС з застосуванням камери на базі матриці CMOS		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1.Швидкість роботи	11 мс	
	2.Вага	2 кг	
	Якість: стандарт АМ1,5		
	Пакування : коробка		
	Марка: НАЕПС + ПСВ		
III. Товар із підкріпленням	До продажу		
	Після продажу		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання:			
Патентування товару			

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субституту, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (Таблиця 5.20). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 5.20 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	2 000 грн	10 000 грн	7000 грн	2000 грн – 10 000 грн

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (Таблиця 5.21):

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 5.21 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Якість роботи ОЕС	Доставка	Україна та сусідні країни	Реклама в інтернеті

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (Таблиця 5.22).

Таблиця 5.22 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення

	Необхідний якісний та дешевий продукт	Інтернет, телебачення	Якість та ціна	Наголосити на низькій вартості та високій якості виявлення дефектів	Ми пропонуємо якість за низькою ціною
--	--	--------------------------	----------------	--	---

Результатом є ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

На ринку України немає прямих комерційних конкурентів, лише державні установи для виявлення дефектів клейових з'єднань. А попит в таких системах зростає через популярність ОЕВС. Тому розробка стенду ОЕС є перспективною та рентабельною справою, адже собівартість продукції є досить низькою через використання дешевих складових.

Серед потенційних клієнтів є як фірми виробники оптичних деталей так і безпосередні користувачі, тому попит на використання систем для виявлення дефектів клейових з'єднань буде зростати.

ВИСНОВОК

Наша робота над першим розділом магістерської дисертації на тему «Підвищення точності вимірювання дефектів клейових з'єднань оптичних деталей шляхом дослідження ПЗЗ-матриці оптико-електронної системи» розпочалась з аналітичного огляду дефектів клейових з'єднань. Нами розписано види композитів клею, їх складових, особливостей з'єднання об'єктів, що будуть склеюватись. Як виявилось склеювати можна не тільки скляний об'єкт з скляним об'єктом, а навіть скляний об'єкт з металом. Великої уваги ми придали аналізу композитів та домішок, що покращують не тільки міцність, а змінюють властивості клею. І такі спеціалізовані клеї використовують все для більшої та більшої кількості галузей. Особливо широкого попиту набувають такі спеціалізовані клеї для будівництва аерокосмічних вузлів та в автомобілебудуванні. Застосування клеїв дозволяє інженерам зменшити кількість кріпильних деталей. Такий огляд дозволив нам зазначити для себе особливість, що домішки у композиціях клею можуть бути розміром від 1 мікрометру до 1 міліметра, і нам необхідно виокремлювати їх та розрізняти з тілом дефекту.

Ми навели приклад технологічних дефектів клейових з'єднань у першому розділі магістерської дисертації. Такий приклад чітко дає нам уявлення утворення дефектів, бульбашок повітря, що утворюються через неправильну, чи недосконалу технологію склеювання. Хочемо зазначити, що ми будемо проектувати оптико-електронну вимірювальну систему, об'єктом вимірювання для якої буде клейове з'єднання скляних тіл (прозорих).

В нашій роботі у нас не буде змоги професійно провести склеювання скляних поверхонь, проте, перед нами не стоїть така задача. А задача є наступною – виявлення дефектів склеювання оптико-електронною системою. І наш недолік перетворюється у перевагу, таким чином ми створюємо умови для проведення експериментальних досліджень з виявлення дефектів.

У другому розділі ми виконали проектування експериментального макету оптико-електронної вимірювальної системи для виявлення дефектів клеєних з'єднань скляних поверхонь. Розпочали проектувати оптико-електронну вимірювальну систему з розробки структурної схеми та підбору його структурних елементів та вузлів з переліку запропонованих видів електроніки та оптики. Особливої уваги ми приділили вибору телевізійної камери з ПЗЗ-матрицею, оскільки, саме для цього вузла ми плануємо проводити ряд експериментальних досліджень присвячених пошуку шумів на матриці та причин їх наявності й звісно розробці методу їх усунення.

У даній магістерській роботі ми розробили узагальнену структурну схему оптико-електронної вимірювальної системи для контролю та виявлення дефектів клейових з'єднань. За цією схемою ми розпочали виконувати аналітичний огляд складових. Розпочали з основного вузла, а саме з вибору мікроскопу. Наш вибір зосереджений на двох видах мікроскопів, : оптичному, металографічному. Такий вибір був обмежений саме цими мікроскопами через ряд причин. По-перше, зручність використання, простота конструкції. По-друге, зручність монтажу телевізійної камери до цих типів мікроскопів.

Наступним кроком з вибору другого вузла, як на нашу думку навіть більш важливого чим мікроскоп, це ми дивимось відносно теми нашої дисертації , є вибір телевізійної камери. Оскільки нам необхідно підвищити точність вимірювання дефектів клейових з'єднань оптичних деталей шляхом дослідження ПЗЗ-матриці оптико-електронної системи. Ми провели огляд камер, що наведено у розділі 2, пункту 2.1.2. Обрали модель камери для проведення експериментальних досліджень. З урахуванням її демонтажу та простоти розборки корпусу, щоб дібратись до ПЗЗ матриці. Хоча частина досліджень ПЗЗ матриці у нас буде відбуватись у звичайному робочому режимі.

Незалежно від того, що основні елементи вимірювальної системи обрано, ми повинні обрати решту вузлів для того, щоб зібрати експериментальний макет оптико-електронної вимірювальної системи дефектів клейових з'єднань та

дослідити точність вимірювання до та після усунення шумових завад на ПЗЗ матриці. Тому ми продовжили наш порівняльний аналіз різних типів вузлів та вибір оптичного мікро об'єктиву. Об'єктиви та окуляри до мікроскопів у моделей, що виготовлені ще при Радянському Союзі, входили до комплекту одразу, ще й і не в одиничному екземплярі, а то і цілими комплектами. Тому наш вибір, щодо радянського виготовлення мікроскопу має ще одну суттєву перевагу. І це знижує вартість готової вимірювальної системи. Програмне забезпечення для обробки зображень, що несуть інформацію про випромінювання об'єкту дослідження, обрано наступне Gwyddion.

У третьому розділі магістерської дисертації ми провели ряд експериментальних досліджень ПЗЗ матриці телевізійної камери. Для початку ми розробили власну методику дослідження шумів на ПЗЗ матриці. Визначили їх попіксельно, а саме у кожному елементі розкладу зображення (пікселі) дослідили рівень шумів. Методика та результати експериментального дослідження з виявлення шумів наведено у пункті 3.1. Методика наступна: телевізійну камеру оптико-електронної вимірювальної системи розташовуємо в темному приміщенні, під цупкою тканиною, з щільно закритим отвором для під'єднання об'єктиву до камери гумовою накладкою. Вмикаємо її та знімаємо показники випромінювання рядково з матриці камери. У нас було 240 рядків пікселів по горизонталі. Отже проведено 240 вимірювань показників випромінювання в кожному пікселі цього рядка. Нажаль, у нас не було програмного забезпечення, що дозволило одразу обрати всю площу ПЗЗ матриці для проведення дослідження. Після обробки даної інформації, ми побудували об'ємне зображення шумів на матриці. Така форма представлення результатів для нашого випадку є обґрунтованою та інформативно у порівняння з табличними даними.

Наступним кроком з виконання завдань нашої роботи стало визначення джерела, що викликає ці шуми. Ми вирішили, що нам варто провести тепловізійне дослідження матриці, у результаті чого ми встановили, що

відбувається нагрів окремих елементів матриці, особливо загальної шини (загальна шина є конструктивною особливістю моделі телевізійної камери, що ми обрали для дослідження). Методика та результати експериментального дослідження з визначення причин виникнення шумів наведено у пункті 3.2. Методика експериментального дослідження для даного етапу наступна: ми обрали тепловізійну камеру з великим показником роздільної здатності, зняли захисний металевий корпус з камери, направили теплову камеру на ПЗЗ матрицю. Заміряли теплову картину перед початком дослідження, потім увімкнули камеру та почали фіксувати тепловізійну картину та час від початку нагрівання (роботи). Таким чином встановили місця найбільшого нагріву матриці. Такий нагрів може викликати шуми на матриці, тому ми провели спробу для охолодження матриці.

Останнім кроком при проведенні експериментальних досліджень, пов'язаних з ПЗЗ матрицею, став пошук системи усунення цього джерела шумів на матриці. Методика та результати експериментального дослідження з усунення шумів наведено у пункті 3.3. Методика наступна: ми під'єднали вентилятор з комп'ютеру та провели повторні дослідження нагріву матриці. Ми визначили, що таке просте рішення усунуло нагрів матриці та відповідно знизило рівень шумів на ПЗЗ матриці. Отже, для усунення впливу теплового чиннику запропоновано методику охолодження ТВС, використання якої дозволило зменшити похибку вимірювання на 40% від загальної похибки та збільшити корисний сигнал на 30%.

У четвертому розділі ми провели оцінку точності вимірювання геометричних розмірів дефектів клейових з'єднань спроектованою оптико-електронною вимірювальною системою.

Хочемо зазначити, що ми виконали оцінку точності до експериментального дослідження ПЗЗ матриці на наявність шумів, визначення також експериментальним шляхом причин виникнення шумів та до проведення дій щодо усунення шумів на матриці. Для цього ми зібрали оптико-електронну

систему з складових, що зазначили у розділі 2 пунктів 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4 за структурною схемою, що навели у пункті 2.1 другого розділу. У якості програмного забезпечення для контролю дефектів у клеєних з'єднань використовували спеціалізоване програмне забезпечення Gwyddion. Ми вже мали змогу використовувати цей програмний продукт, він зарекомендував себе як простий у застосуванні, та такий, що надає багатий функціонал для обробки результатів випромінювання по зображенню, що отримано оптико-електронною вимірювальною системою.

Дослідницьку роботу поведено для 4 зразків клейових з'єднань (по два зразки кожного клею), що були підготовлені з застосуванням клеїв різних за хімічним складом та скляним поверхнями з коефіцієнтом пропускання світла, що дорівнює 1 та товщиною 2 мм. Клей використовували епоксидний та силіконовий.

На рисунках четвертого розділу зображено результати дослідження геометричних розмірів дефектів епоксидного клею (клей № 1) та силіконового клею (клей № 2).

Результати експериментальних досліджень проведених з різними зразками клеїв для однакових за товщиною скляних поверхонь дозволяє стверджувати, що об'ємне дослідження клейового шву є більш інформативним, а ніж система оцінювання за координатами (х, у). Для наведеного на рисунках цього розділу зображення, об'ємне зображення дозволило виявити на 9 % більше дефектів, що підраховувалось з застосування спеціально прописаного програмного модулю за інтенсивністю по-піксельного відображення клейового зображення. А похибка вимірювання геометричних розмірів клейових дефектів становила $10 \pm 1,2$ мкм.

Наступним кроком, було усунути шуми на матриці. Їх усунення ми досягли шляхом охолодження повітря навколо камери, але хочемо зазначити, що камера знаходилась без металевого кожуху. Після чого ми провели повторно експериментальні дослідження з визначення геометричних розмірів дефектів клейових з'єднань тих само чотирьох зразків.

Отримали наступні результати. Відносна похибка вимірювання геометричних розмірів дефектів клейових з'єднань скляних поверхонь товщиною 2 мм й коефіцієнтом пропускання світла, що дорівнювала 1, зменшилась на 25 %.

Хочемо відзначити, що після дотриманням тонкощів в налаштуванні системи усування шумів на матриці, було підвищено чутливість й роздільну здатність фіксації дефектів, а похибка вимірювання становила $10 \pm 1,2$ мкм після $10 \pm 0,3$ мкм.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. G. Jeevi, Sanjay Kumar Nayak & M. Abdul Kader Review on adhesive joints and their application in hybrid composite structures / Journal of Adhesion Science and Technology. ISSN: 0169-4243 (Print) 1568-5616 (Online) Journal homepage: <https://www.tandfonline.com/loi/tast20>
2. Jakub Kowalczyk , Przemyslaw Lopato, Grzegorz Psuj , Dariusz Ulbrich Glass–Adhesive–Steel Joint Inspection Using Mechanic and High Frequency ElectromagneticWaves / Materials 2020, 13, 4648; doi:10.3390/ma13204648 / www.mdpi.com/journal/materials
3. W.T. Chen and C.W. Nelson, Thermal stresses in bonded joints, IBM J. Research and Development, 23, pp. 179–188 (1979).
4. F. Dorgeuille, S. Rabaron, F. Pommereau, C. Artigue, and P. Brosseau, Optical amplifier device, United States Patent Application 20020154392 (2002).
5. A. Norris and J. DeGroot, Silicone materials for optical device applications, Proceedings ECOC, Tu 3.5.6, Rimini, Italy, 2003.
6. W.H. Wong, E.Y.B. Pun, and K.S. Chan, Rare-earth doped polymer waveguide amplifiers, Proceedings ECOC, Th 4.2.7, Rimini, Italy, 2003.
7. A.-C. Pliska, J. Kunde, S. Grossmann, Ch. Bosshard, R. Bättig, S. Pawlik, T. Pliska, S. Saintenoy, and B. Schmidt, Low-cost optoelectronic packages: development of a fast alignment technique and a stable bonding process of singlemode optical fibers, EMPC Conference, Brugges, 2005.
8. Priyadarshi, A, Shimin, L, Wong, E H, Rajoo, R, Et al, “Refractive Indices Variation with Temperature and Humidity of Optical Adhesive,” Journal of Electronic Materials, Nov 2005.
9. Jan Haisma, “Direct bonding: retrospect and outlook,” Philips Journal of Research, Vol. 49, No 1-2(1995), pp 171-177.

10. Roy Knechtel, "Glass frit bonding: an universal technology for wafer level encapsulation and packaging," *Microsystem Technologies*, Vol. 2, No 1-2(December 2005), pp 63-68.

11. Murahara, Masataka; Funatsu, Takayuki; Okamoto, Yoshiaki, "Photochemical adhesion of fused silica optical elements with no adhesive strain," *The International Society for Optical Engineering, SPIE Volume 6403*, pp. 640322 01/2007.

12.